

MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet Budapest



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
SZÁMITÁSTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI KUTATÓ INTÉZETE

ROBOTMEGFOGÓK ADAPTIVITÁSA I.

dr. Gerencsér Piroska

dr. Szép Endre

Zilahy Ferenc

Marton Zsolt

Tanulmányok 103/1980

A kiadásért felelős:

DR. VÁMOS TIBOR

ISBN 963 311 101 3

ISSN 0324-2951

Technikai szerkesztő

Szigetvári Istvánné

Készült a
KSH Nemzetközi Számítástechnikai Oktató és Tájékoztató Központ
Reprográfiai Üzemében
7220-0015

T A R T A L O M

	Oldal
BEVEZETÉS	5
I. ROBOTMEGFOGÓK ADAPTIVITÁSA <i>dr. Gerencsér Piroska tud.főmunkatárs</i>	7
II. ROBOTMEGFOGÓ SZERKEZETEK SZINKRONIZÁLÁSA MOZGÓ MUNKADARABOKKAL <i>dr. Szép Endre tud.főmunkatárs</i>	91
III. EGY INTELLIGENS ROBOT MEGFOGÓJÁNAK KONSTRUKCIÓS PROBLÉMÁI <i>Zilahy Ferenc gépészmérnök</i>	105
IV. KÉTUJJAS FOGÓ TERVEZÉSE <i>Marton Zsolt gépészmérnök</i>	115

B E V E Z E T É S

Az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézetében a robottéma keretein belül a megfogókkal kapcsolatosan több irányban is megindultak a kutatások. A kutatás tárgya a legegyszerűbb ipari robotmegfogóktól kezdve az érzékelőkkel felszerelt adaptív megfogókig terjed; megjelenési formája szerint pedig cikk, előadás, tanulmány, kísérleti modell építése, konstrukciós és kivitelezési munka.

Jelen Tanulmányban - a Magyarországon már publikált anyagok kivételével - összefogtuk azokat a munkákat, amelyek az irodalomkutatás, a kísérletek és a tervezés területén eddig elért eredményeket és tapasztalatokat tartalmazzák és amelyek alapját képezhetik további munkáinknak. Mivel ez a munka továbbra is valamilyen módon kapcsolódik a robotmegfogó témához, ezt a Tanulmányt sem tekinthetjük lezártnak, csupán I. résznek, amelynek folytatása következik.

a Szerzők

I. ROBOTMEGFOGÓK ADAPTIVITÁSA

dr. GERENCSÉR PIROSKA

1. AZ IPARI ROBOTOK ÉS A TECHNOLÓGIAI FOLYAMAT KAPCSOLATA

A robotok egyrészt vezérlésük, másrészt megfogóik révén kerülnek kapcsolatba az általuk kiszolgált technológiai folyamattal.

- a./ *A robotvezérlés* megvalósítható saját program és/vagy a technológiát irányító általános /pl.: számítógépes/ program szerint - természetesen emberi beavatkozás is lehetséges. A vezérlő egységen keresztül hat egymásra a technológia és a robot a vezérlő, tiltó stb. jelekkel, amelyeket esetleg a kezelő személy is közvetíthet. A vezérlésen keresztül megvalósított kapcsolatrendszer állandónak tekinthetjük.
- b./ A robot és a technológia kapcsolatának másik oldala a *robot-megfogó és a tárgy közötti műveleti kapcsolat*. Ehhez a megfogó és a tárgy először "szinkron állapotba" kerül - pl.: hely, helyzet, sebesség szerint - és ezután végrehajthatók az előírt műveletek. A művelet/ek/ végrehajtása után a megfogó és a tárgy kapcsolata megszűnik. A tárgy lehet állandó: technológiai berendezés része /melyet a robot kezel, működtet/, vagy lehet változó: az anyagáram /munkadarabok, nyersanyag/ egysége. Megmunkálási fázisok után ugyanaz a munkadarab ismételten előfordulhat, de kapcsolatteremtés szempontjából ez már újabb tárgynak számít.

Tipikus műveletek az alábbiak /összetetten is előfordulhatnak/:

mozgatás /hely-, helyzetváltoztatás/
ellenőrzés /mérés/
megmunkálás, felületkezelés /szerszámmal/
szerelés /munkadarabok rendszerezett összeillesztése
oldható és nem oldható kötése/
alak és helyzetfelismerés segítése.

2. A MEGFOGÓ FELÉPÍTÉSÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK A TECHNOLÓGIA OLDALÁRÓL

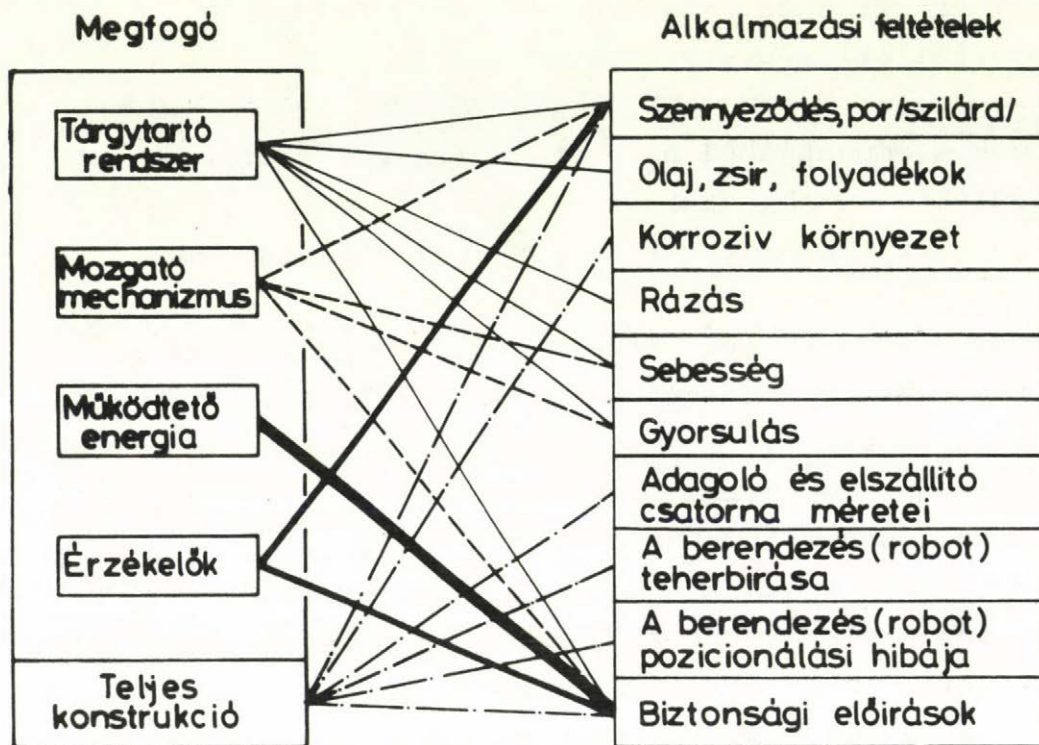
A robotok működését két fő fázisra oszthatjuk fel:

- a./ Tárgykeresés és a "szinkron állapot" felvétele;
- b./ A művelet/ek/ végrehajtása.

A megfogók szempontjából a műveleti fázis a fontosabb - bár ebben a fázisban is működik a robotvezérlés és a kinematika -, de a megfogók közreműködhetnek az első fázisban is, amennyiben a *technológia szervezettségi és rendezettségi foka a tárgy pontos meghatározását és helyezését nem teszi lehetővé*. Ekkor a robotkinematika először a tárgyat csak megközelíti és a megfogó a beépített érzékelőkkel elősegíti a további tájolást. A megközelítés nyíltláncu vezérléssel is megoldható, a kompenzáló mozgás visszacsatolt pozíciószabályozás.

A technológia, mint környezet, szintén hatással van a megfogók kialakítására. Az 1. ábra /32/ alapján ezeket a hatásokat összegezi. Ezt a képet még ki kell egészíteni pl. a makroklima /környezet/ és a mikroklima /manipulált tárgy/ hőmérsékleti viszonyaival, a hozzáférési lehetőségekkel. Az ábrából látható, hogy lényeges, minden részegységre kiható tényező a biztonság, amelynek előírásai a kezelő személyt és a technológiai berendezéseket is védik. A fentiekből kitűnt, hogy a megfogó az információforrásként hasznosított érzékelők hordozója is lehet. Ezeknek az információknak nagyrészt a tárgykeresés fázisában dolgozza fel a vezérlő egység. Az érzékelők beépítése szintén módosítja a megfogó konstrukcióját; tehát a technológia szervezettsége így közvetetten hat a megfogó tervezésre.

- A./ Ha a robot mozgási műveleteinek elvégzéséhez a tárgyra vonatkozó minden információt adott és az adatok csak egy szűk tűréshatáron belül változhatnak; akkor a megfogó már



1. ábra.

Az alkalmazási feltételek hatása
a megfogóra [32] alapján

nem lesz információ forrás, róla a vezérlés felé helyzetkorrekciós visszacsatolás nincs.

A megfogó ilyen esetben mint szerkezet a tárgy alakzáró - vagy legalább biztos - megfogását, tartását, szállítását oldja meg. Más művelettípusoknál a szerszámot, mérőeszközt tartja.

B./ Az eleve rendelkezésre álló információ mennyiségének csökkenésével ill. a bizonytalansági /tűrési/ sávok szélesedésével a hiányzó adatokat pótolni kell, ill. a tűréshatáron belül eső eltéréseket kompenzáljuk. Ez a megfogóknál az alábbi módosításokban tükröződik:

a./ a megfogókba olyan érzékelőket építünk be, amelyek a tárgy megközelítésekor analóg vagy diszkrét jelekkel tájékoztatják az irányító egységet a szükséges mozgáskorrekciókról vagy az esetleges programváltoztatásról. A megfogóba épített érzékelők a műveleti fázisban is követik egyes paraméterek /pl. súly/ változását és szabályozási köröket működtetnek.

b./ A megfogó szerkezeti felépítése révén kompenzálni tudja a tárgyra jellemző egy vagy több paraméter /pl. hely, helyzet, súly, alak, méret/ változását adott határokon belül.

Ezeket nevezzük adaptív megfogóknak.

C./ A robot program-készletéből csak a tárgy megkeresése és azonosítása után választható ki a szükséges mozgási és műveleti algoritmus. Az információszerzést pl. vizuális inputtal is segíthetik. A tárgyak és a műveletek sokfélesége miatt megfogókészletet kell kialakítani, melyből a robot a megfogókat és a szerszámokat önműködően cseréli.

Ebben a készletben A és B típusu megfogók is előfordulhatnak, sőt "letapogató" ujjak is, amelyek a tárgy alakfelismerésében vesznek részt.

D./ A megfogókat nem ipari jellegű robotoknál alapvetően más szempontok szerint alakítják ki. Ilyen eset például a protéziskéz, amely az emberi kéz funkcióját hivatott pótolni. Az emberi kéz mozgási lehetőségei, azok összehangoltsága, rugalmassága és a szinte megszámlálhatatlan "beépített érzékelő" ezt a másolást csak nagyon korlátozott mértékben teszi lehetővé. A megoldások - a műszaki és gazdasági lehetőségeket és az esztétikai követelményeket figyelembe véve - néhány művelettípusra terjednek ki az ilyen "megfogókban".

3. TÁRGY ÉS MŰVELETORIENTÁLT KÖVETEL- MÉNYRENDSZER MEGFOGÓKRA

Az ipari robotok alkalmazási lehetőségei közül számunkra 3 csoport lényeges a megfogók műveletorientált elemzéséhez:

- a./ szerszámhordozóként működő ipari robotok /pl. festés, hegesztés/;
- b./ szerszámgépet, munkagépet kiszolgáló robotok /munkadarabok, szerszámok, készülékek áthelyezése/;
- c./ szerelő robotok.

E három csoporton belül a gépkiszolgáló és a szerelő robotok területén célszerű a megfogókonstrukció optimális kialakításával foglalkozni.

A műveleti fázisban a megfogó az alábbi követelményeknek feleljen meg:

- a./ A megfogó a munkadarabok minél szélesebb skáláját tudja megfogni és áthelyezés közben biztonságosan tartani, például
méret
forma, alak
súly /súlypont helye/
felületi minőség
szilárdság vagy törékenységi
hőmérséklet stb.
paraméterek szerint.
- b./ A megmunkálási, hőkezelési, szerelési fázisok közben ill. utánuk is legyen a megfogó alkalmas a megváltozott, ill. módosult munkadarab manipulálására.
- c./ A munkadarab felvételénél, lerakásánál, szerelésénél, szerszámgépbe rögzítésénél vagy oldásánál a megfogó férjen el a

rendelkezésre álló térben és a felsorolt műveleteknél rugalmasságával /kiegészítő szabadságfokkal, amely nem feltétlenül szabályozott/ tegye lehetővé a szükséges mozgás ill. helyzetkompenzálást.

d./ A megfogó legyen alkalmas olyan érzékelők felszerelésére, melyek információt nyújtanak méretellenőrzéshez vagy egyéb, a megfogást ill. tartást minőségét, biztonságát jelző, szabályozó egységeknek /pl. szorító erő szabályozása/. Végre nem hajtható műveleteknél /pl. a munkadarab beszorulása esetén/ túlterhelés ellen védett legyen - és ezzel a robotkinematikát is védje.

e./ Egyéb követelmények:

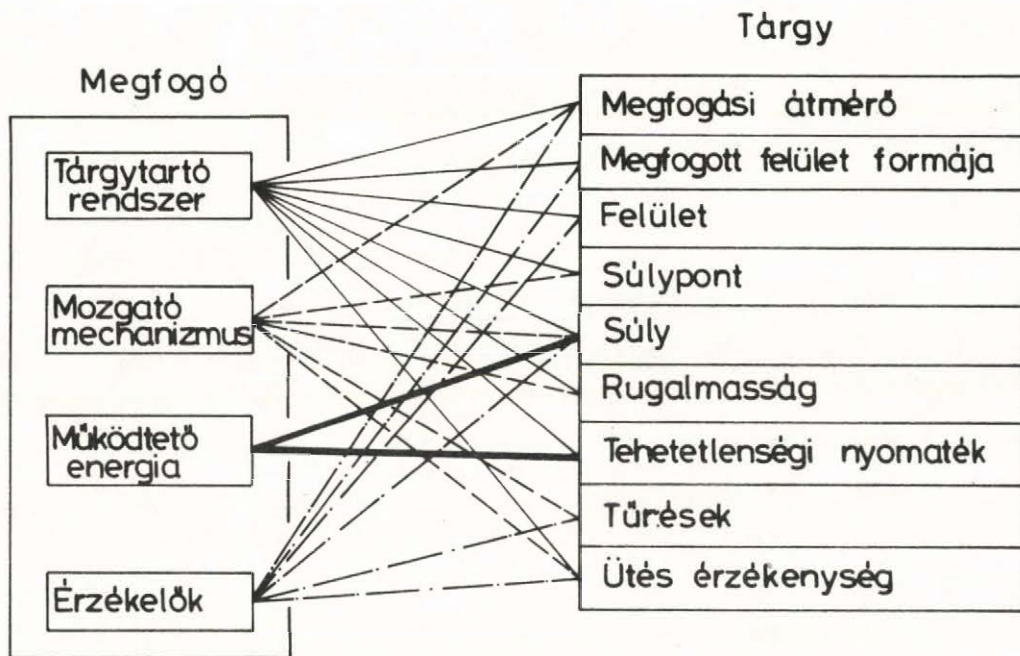
- gyors működés
- egyszerű, kompakt konstrukció
- gyors cserélhetőség, esetleg módosítási lehetőség a teljes megfogóra vagy csak az ujjakra
- hosszú élettartam
- reteszelés a szorítóerőt adó hajtás energiaellátásának kimaradása esetén kiejtés ellen.

A tárgy és a megfogókialakítás közötti kölcsönhatás összefoglalása /32/ alapján a 2. ábrán látható.

4. A MEGFOGÓK SZERKEZETI FELOSZTÁSA

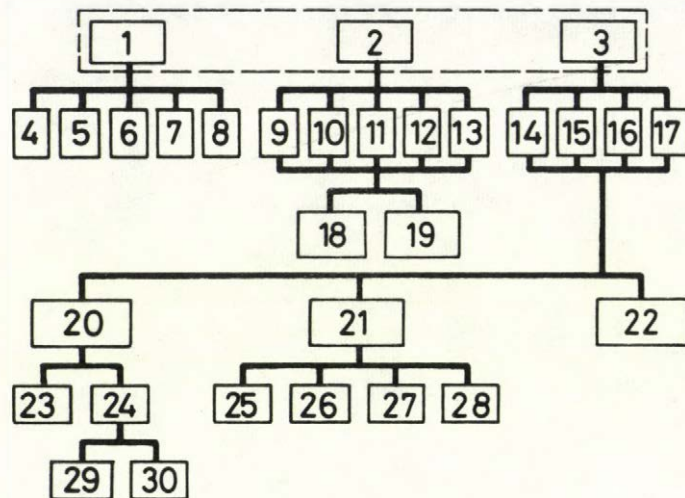
A megfogókat szerkezeti felépítésük alapján három részre bontják fel [37]:

- a./ hajtás /működtetés/
- b./ szorító mechanizmus
- c./ ujjak



2. ábra.

A tárgy és megfogó kölcsönhatása
[31] alapján



3. ábra.
Megfogók osztályozása
[37] alapján

A 3. ábrán láthatjuk a szerkezeti egységek osztályozását. Ezek szerint az alábbi lehetőségek vannak:

hajtás /1/: pneumatikus /4/

hidraulikus /5/

elektromechanikus /6/

rugós /7/

mágneses /8/

szorítómechanizmus /2/: csuklós mechanizmus /9/

u.a. párhuzamos mozgatóval /10/

kulisszás-emelőkaros /11/

ékes-emelőkaros /12/

fogasléces-emelőkaros /13/

ujjak /3/: feloszthatók a számuk szerint: két /14/, három /15/, négy /16/ és többujjas /17/ megfogókra /megjegyezzük, hogy vannak egyujjas vákuumos "megfogók" is/;

feloszthatók szerkezetük szerint: merev /20/, rugalmas /21/, érzékelőkkel felszerelt /22/ ujjakra.

A merev ujjak: egy-elemesek /23/, több-elemesek /24/, ez utóbbiak önbeállító /29/ vagy csuklós-izületes /30/ kivitelben.

A rugalmas ujjak: rugósak /25/, elasztikus anyaggal burkoltak /26/, rugalmas tömlők /27/, rugalmas hengerek /lapok/ /28/.

Ettől kissé eltérő módon megfogalmazott felosztást mutatunk be az I. táblázatban a [32] irodalom alapján.

1. táblázat

Alrendszer	Tipusjellemzők	Egyéb meghatározók
Tárgytartó rendszer	egyujju többujjas különleges	méret súly forma anyag
	erőzáró részben alakzáró alakzáró	
Mozgató mechanizmus	mechanizmus nélküli emelőkaros bütykös mechanizmus fogaskerekes áttételes huzalos	
	állandó szorító erő a megfogási tartományban állandó szorító erő növekvő megfogott méretnél csökkenő szorító erő növekvő megfogott méretnél	
Működtető energia	elektrosztatikus elektromágneses villamos motoros pneumatikus hidraulikus mechanikus tengelykapcsolat egyéb	
Érzékelők	vizuális induktív kapacitív szorító erő mérés megcsuszás mérés mechanikus letapogatás egyéb	

Megfogók felépítése

5. MEGFOGÁSI MŰVELET

A megmunkáláshoz befogott és a robotmegfogókkal tartott tárgyak lehetséges mozgása ill. szabadságfoka a 4. ábrán látható [36] alapján. Az első oszlopban a befogások, a másodikban a robotos megfogások főbb típusai láthatók néhány kiemelt tárgyformára. A mozgási lehetőségek figyelembe vétele fontos azért, mert a befogott tárgy és a megfogó kölcsönhatásakor a robot beállási pontatlanságai miatt erők, nyomatékok ébrednek /5. ábra/, amelyek káros, esetleg maradandó deformációkat okoznak a különböző szerkezeti elemekben, ill. a rossz felfekvés miatt a tartás, szorítás, hatásfoka romlik.

Ha a robot szerelési munkát végez /pl. csavart huz meg, csapot furatba illeszt, anyagot sajtolással alakít, peremez, ponthegeszt, vág/, a műveletet pontatlanul hajtja végre, sőt egyes esetekben a művelet el sem végezhető.

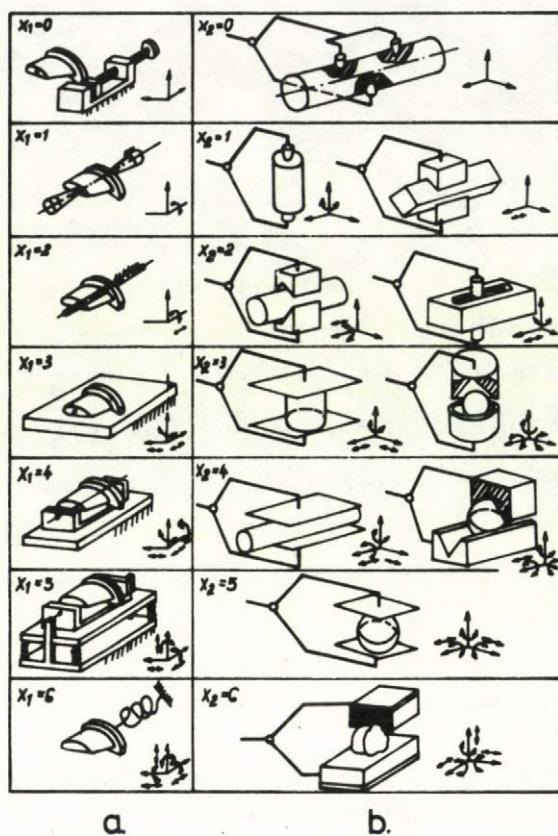
A fenti hibák a robot főmozgásának kinematikai lánc, a csukló és a megfogó szabadságfokszámának növelésével csökkenthető. /Ilyen célt szolgálnak a rugalmas szerkezeti elemek is./

Mereven befogott munkadarab esetén a robotkinematikánál elvileg 3 lineáris és 3 forgómozgást kell lehetővé tenni. A ténylegesen megvalósított v szabadságfok ennél kisebb szám, mert csökkenthető

- a tárgy alakja,
- az ujjak formája,
- tárgy készülékbe fogásának módja,
- a tárgy-megfogó relatív szabadságfoka alapján.

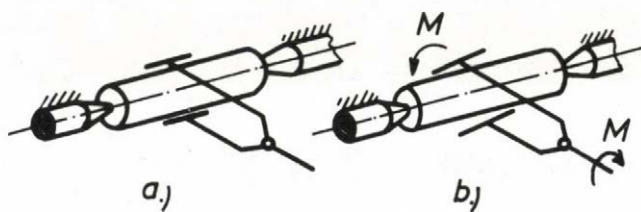
Általánosságban

$$v = 6 - (K_1 + K_2) + \epsilon$$



4. ábra.

A befogott ill. megfogóval tartott munkadarabok lehetséges mozgásai [36]



5. ábra

A megfogó és a tárgy
 a, ideális
 b, M nyomatékot ébresztő
 viszonylagos elhelyezkedése [36]

- ahol K_1 - a 4.a ábra szerinti befogó-tárgy relatív szabadságfokainak száma
 K_2 - a 4.b ábra szerinti megfogó-tárgy relatív szabadságfokainak száma
 ε - a befogó-tárgy és a megfogó-tárgy megegyező mozgásirányu szabadságfokainak száma.

A 4.b ábrán megfigyelhetjük, hogy a K_2 számot nagymértékben befolyásolja azonos megfogó-ujjakkal a tárgy alakja, ill. megfogási pozíciója /pl.: hengernél/, vagy megfordítva, ugyanazon tárgyhelyzetnél a megfogó ujjainak kialakítása.

A tárgyak megfogásánál a beállási pontatlanság csökkentéséhez egyes robottípusoknál nem veszik igénybe a főmozgásokat végrehajtó mechanizmust. *A megfogó és a főmozgások mechanizmusának relatív elmozdulását a csukló valósítja meg.* A csukló általában egy - vagy több - szabadságfoku forgómozgást végez. Geraszimov [35] szerint annyi legyen a csukló forgási szabadságfoka, mint a robot főmozgásainak. Ha a tárgyakat szerelésnél, megmunkálásnál forgatni kell, ez a szám 2 legyen, rendezetlen tárgyhalmaznál 3.

Egykaru és egycsuklójú robot szabadságfoka /n/:

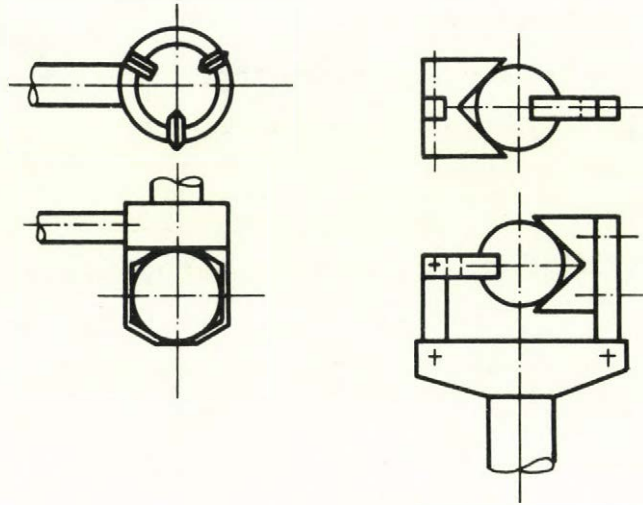
$$(2) \quad n = n_o + n_k^* + n_{cs}$$

ahol n_o - az alap /pl. sinen mozgó robot/
 n_k - a kar /főmozgások/
 n_{cs} - a csukló

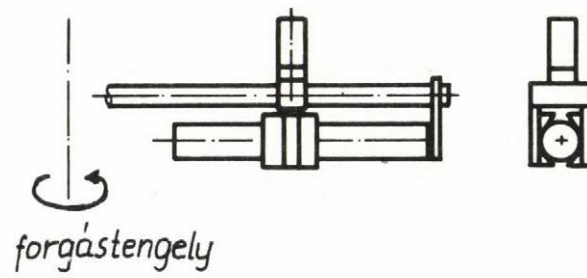
} szabadságfoka

Szokásos értéktartomány:

n	$= 5 \div 7$
n_o	$= 0 \div 1$
n_{cs}	$= 2 \div 3$
n_k	≈ 3



6. ábra
Markolás [3]



8. ábra
Megtámasztás [3]

Ha a robotnak több karja van egy-egy csuklóval:

$$(3) \quad n = n_o + \begin{array}{l} n_{k1} + n_{cs1} \\ n_{k2} + n_{cs2} \end{array}$$

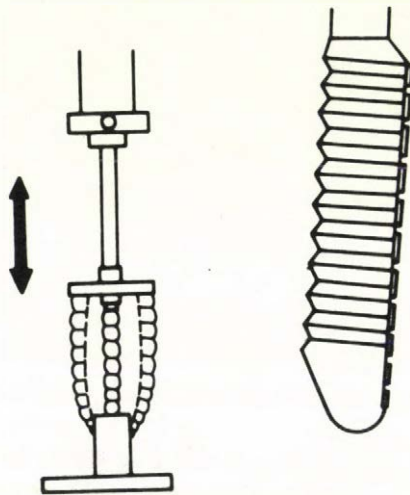
ahol n_{ki} ill. n_{csi} - az i -k kar ill. csukló szabadságfoka.
Több kar és több csukló esetén a szabadságfok az alábbi módon számítható:

$$(4) \quad n = n_o + \begin{array}{l} n_{k1} + \begin{array}{l} n_{cs11} \\ n_{cs12} \end{array} \\ n_{k2} + \begin{array}{l} n_{cs21} \\ n_{cs22} \end{array} \end{array}$$

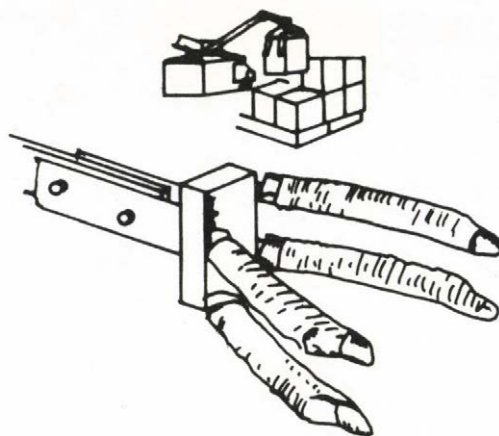
ahol $n_{csi j}$ - az i -k kar j -ik csuklójának szabadságfoka.

6. A TÁRGY TARTÁSA MŰVELET KÖZBEN

A tárgyak, munkadarabok mozgatásánál a legbiztosabb tartást a *körülfogás*, *markolás* adja, ilyenkor kisebb az ujjak szorítóerő igénye, az erők eredője zérus és egy pontba tartanak /6. ábra/ [3,4]. Ez a "markolás" ill. körülzárás elasztikus ujjakkal például elég jól megoldható /De Bears USA [11, 13], SIMRIT NSzK [28], 7.a és b ábra/.



a. SIMRIT ujjak [28]



b. De Bears ujjak [11.13]

7. ábra.

Elasztikus megfogó ujjak

A tárgy markolását több tényező is akadályozhatja:

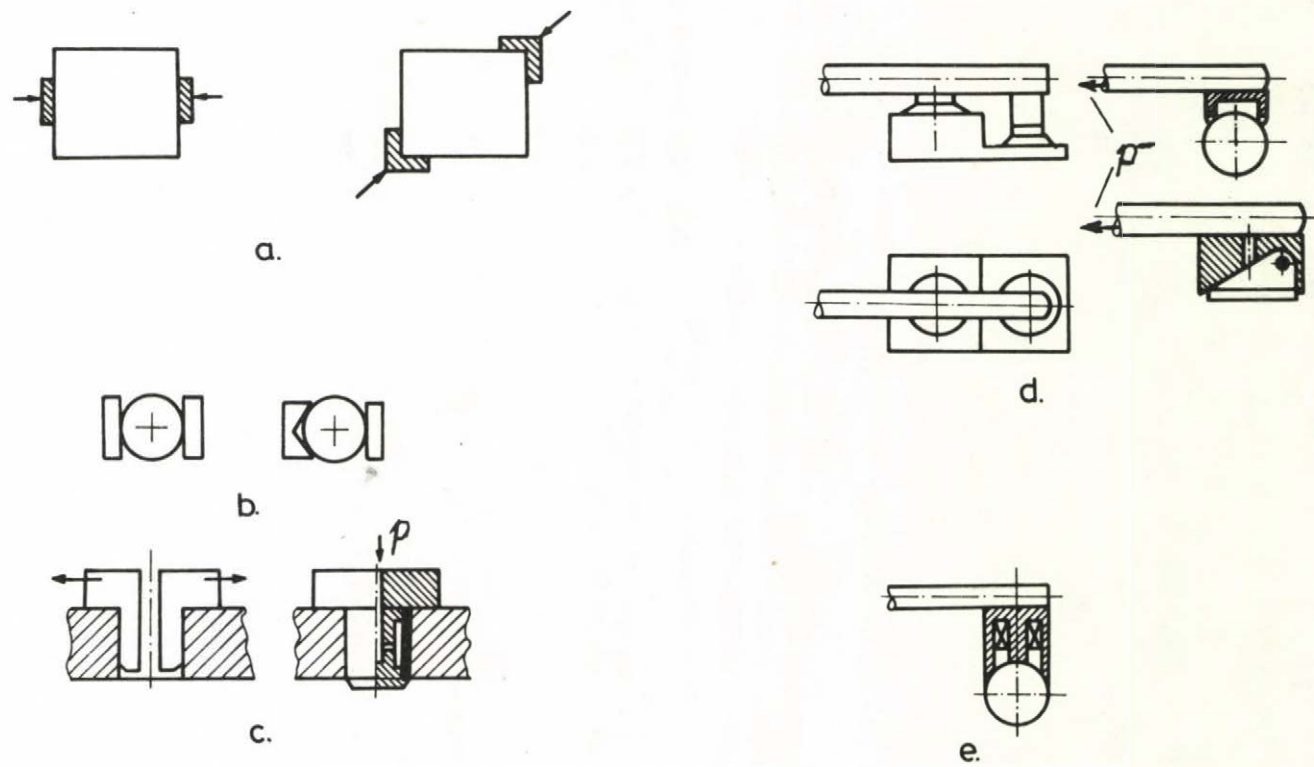
- nem lehet a tárgy alá nyulni /az ujjakkal beférni/;
- a tárgy körül a hozzáférési tér korlátozott;
- a tárgyat bele kell helyezni egy szerkezetbe /pl. tokmány/;
- a tárgy anyaga vagy alakja miatt nehezen kezelhető /pl. táblalemez, hosszú rud/.

A rudalaku tárgyat megtámaszthatjuk a várható kicsuszás irányában /8. ábra/.

Az ipari robotok nagyrésznél két, ill. többujjas megfogókat használnak, amelyekben a megfogópofák között a tárgyat az a surlódóerő tartja vissza a kicsuszástól, amelyet a szorító erő hoz létre. A tárgy biztonságos tartása azonban nemcsak a szorító erő növelésével érhető el, hanem olyan megfogópofák alkalmazásával, amelyek a tárgy minél nagyobb felületéhez és minél pontosabban illeszkednek. Ezzel nemcsak a tárgy-megfogó relatív szabadságfoka csökken, hanem a tárgy felületegységére jutó erőigénybevétel is. A 9. ábra a külső /a és b részlet/ és a belső /c részlet/ megfogások ill. tárgytartások javítását mutatja be. Első esetben alakra-munkált megfogófelületek, az utóbbinál pneumatikus felfújható "muff" növeli a kapcsolódó felületek nagyságát. A d ábrarészlet vákuumos, az e részlet mágneses megfogást mutat be, ahol ugyancsak a tárgyalakhoz megmunkált ill. a felületre rásimuló gumitappancsok ujjak a feltapadási felületet növelik - és ezzel a tartóerőt is.

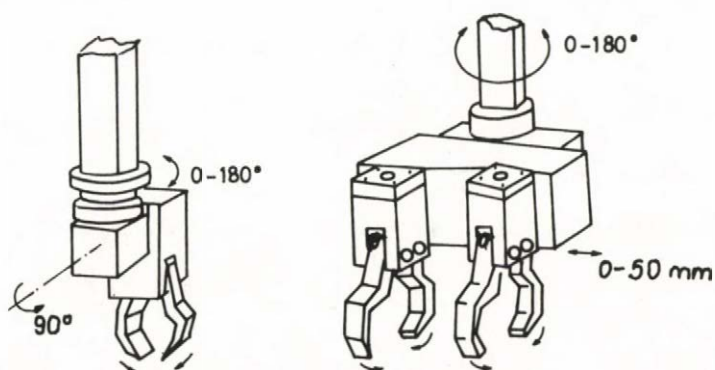
A tartóerőt az ujjak és a megfogók számának növelésével is illeszthetjük a munkadarab alakjához vagy súlyához. A 10.a ábrán a svéd Kaufeldt cég, a b ábrarészleten az Unimate /USA/ robotok hosszú munkadarabokat kezelő megfogója látható. A 7.b. ábra a De Bear cég 4 ujjú megfogóját mutatja be ládák kezelésére és végül a 11. ábrán elektromágneses lemezfellevőket látunk.

A munkadarabok súlyskálája szerint a szorítóerő állítható vagy szabályozható /pl. nyomással, árammal, léptetőmotorral, rugó-

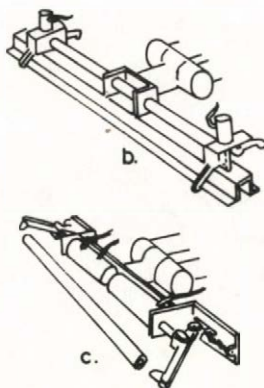


9. ábra.
Alakzárás növelése megfogóknál [4.13]

val/. Súlyváltozást okozhat tartás közben folyadékkal töltés, festés, megmunkálás, szerelés. A szorítóerő szabályozását ilyen esetekben rendszerint az indokolja, hogy a munkadarabot védeni kell a túlzott igénybevételtől, mert felülete érzékeny, törékeny vagy lágy.



a. Kaufeld (svéd) cég
robotmegfogója



b. Unimate (U.S.A.)
megfogók

10. ábra.

Nagy L/D viszonyszámú
/hosszú/ munkadarabok megfogása

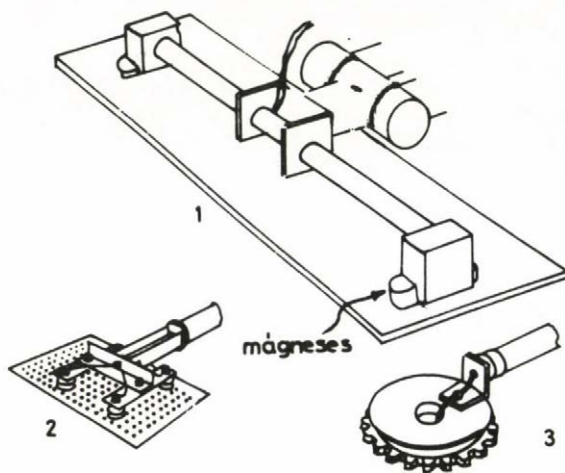
7. ROBOTMEGFOGÓK ADAPTIVITÁSA

A robotmegfogókkal szemben támasztott technológiai- és művelet-orientált követelményrendszerek egyuttal az adaptivitási csoportokat is meghatározzák.

1. A tárgyra vonatkozik az első adaptivitási csoport, ahol az adaptivitás célja a szorítóerő és a megfogási felület biztosítása a tárgy károsodása nélkül.

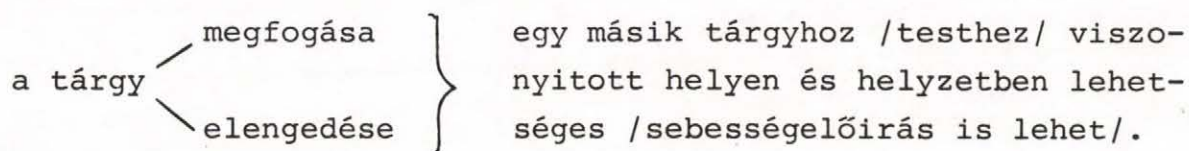
Ezen belül tehát adaptív legyen a megfogó
alakra,
méretre,
sulyra /esetleg súlypontra/,
anyagminőségre, felületi minőségre, s.i.t.

2. A második csoport a tárgy felvételének és lerakásának formai kötöttségében foglalható össze:



11. ábra.

Elektromágneses lemez-
felvevő megfogók



Ez a "másik tárgy" lehet pl. egy sík, láda, furatos alkatrész, szerszámgép. A tárgy felvételénél a *megfogási művelet* a tárgyat el nem mozdíthatja, forgathatja; ha a tárgy tokban, készülékben vagy süllyesztékben van, káros deformációt, törtést nem okozhat stb. Lerakásnál és elengedésnél a tárgyat ejteni, felbillenteni nem szabad, befogóba, furatba, süllyesztékbe káros deformációk és felületi sérülések nélkül kell behelyezni.

Ezt a feladatcsoportot a robot főmozgásai és mellékmozgásai segítségével kell elsősorban megoldani. A megfogóban elhelyezett érzékelők, a rugalmas vagy szabályozott szerkezeti elemek a hely- és helyzetkorrigálást elősegítik, ill. a megfogó hatáskörzetében el is végezhetik.

3. A harmadik csoport a művelet szerinti adaptivitás. Ez az igény elsősorban a szerelő robotoknál jelentkezik, ahol a rako-dás, illesztés, tárgykeresés és azonosítás, esetleges furás, hegesztés, forrasztás, csavarhuzás más és más ujjakat vagy megfogókat igényel. Ilyen esetben a *megfogó- és szerszámtárból* automatikusan, a programnak megfelelő megfogót kell a robotkarra felerősíteni.

8. A TÁRGY FORMÁJA ÉS A MEGFOGÓ KIALAKÍTÁSA KÖZÖTTI KAPCSOLAT

A robot megfogójának és ujjainak kiképzésénél az alábbi tényezőket kell figyelembe venni:

- a./ felületi alapelemek geometriája /sik, henger stb./ 12. ábra;
alapelemek és alaptestek kombinációja /13. és 14. ábra/;
a tárgy legkisebb és legnagyobb mérete ill. ezek aránya;
- b./ a súlypont helye vagy annak változása,
a súly, ill. változása;
- c./ előírt megfogási helyzet,
hozzáférhetőség a térben,
szabad felületek a tárgyon;
- d./ felületi minőség /érdesség, merevség/.

A megfogó tervezésénél alapvető törekvések:

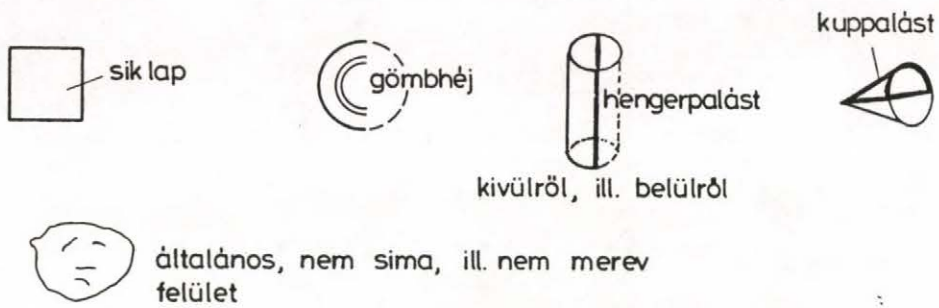
alakzáró - vagy részben alakzáró megfogás,
súlypont körülfogása,
a tárgyhöz illesztett szorítóerő megvalósítása.

8.1 A TÁRGY ALAKJÁNAK HATÁSA A MEGFOGORA; MEGFOGÁSI FELÜLETEK

Az összetett geometriájú tárgyakat két nagy csoportra oszthatjuk:

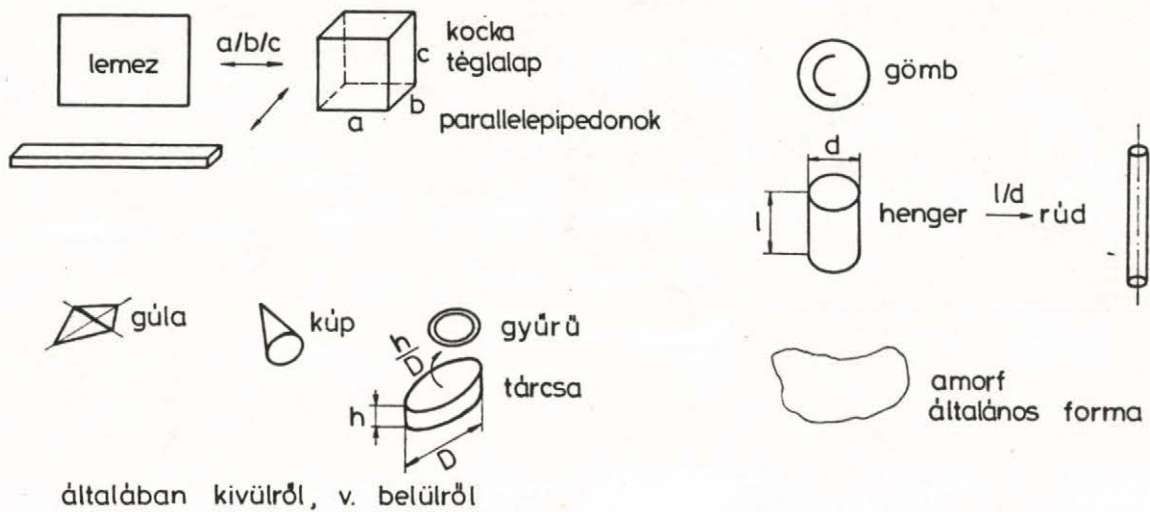
- a./ a megfogó hossztengelye irányában változik a tárgy geometriája /lásd 15. ábra/;

Alapelemek



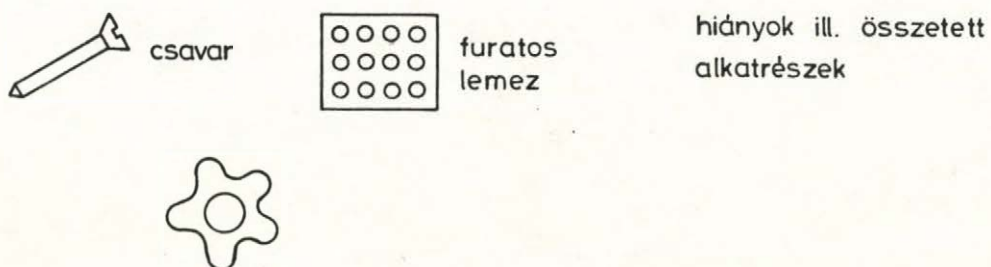
12. ábra.

Alaptestek:

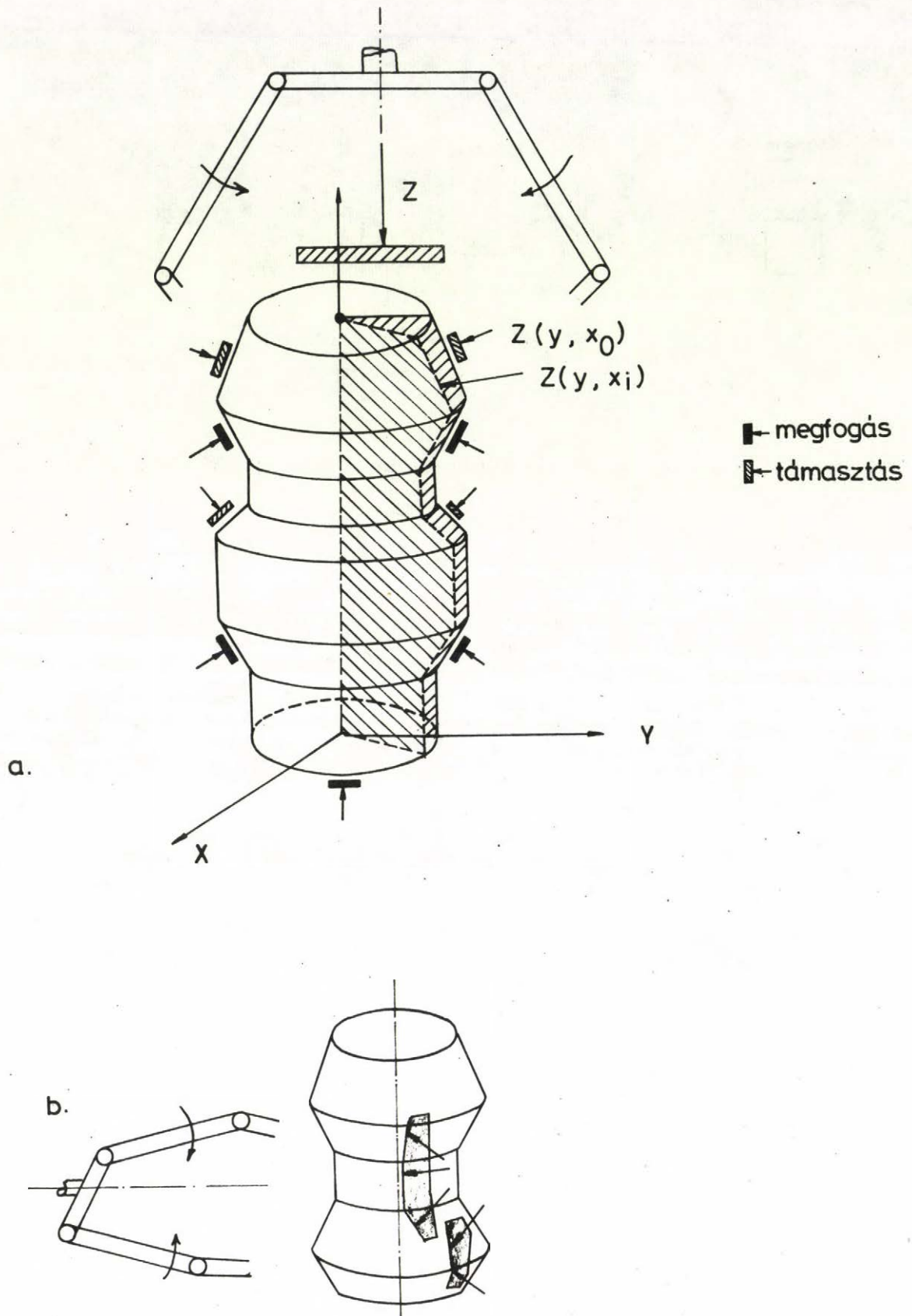


13. ábra.

Összetett testek:



14. ábra.



15. ábra.

b./ a megfogás tengelyére merőleges síkban, a tengelyhez képest változó távolságu kerületi pontokból, szakaszokból álló metszettel jellemezhető test /16. ábra/.

Ez a két típus külső és belső megfogásra is jellemző lehet, amikor a megfogó ilyen belső kialakításu tárgyakkal dolgozik és nem célszerű a külső megfogás.

Ugyancsak meg kell vizsgálni ezeket a tárgyakat a hossztenge-lyükre /z tengely/ merőleges megfogásra is, amikor a megfogó tengelye és a sulyerő hatásvonala egymásra merőleges lesz - ugyanis a tárgyak manipulálása közben ilyen feltételek is létrejönnek.

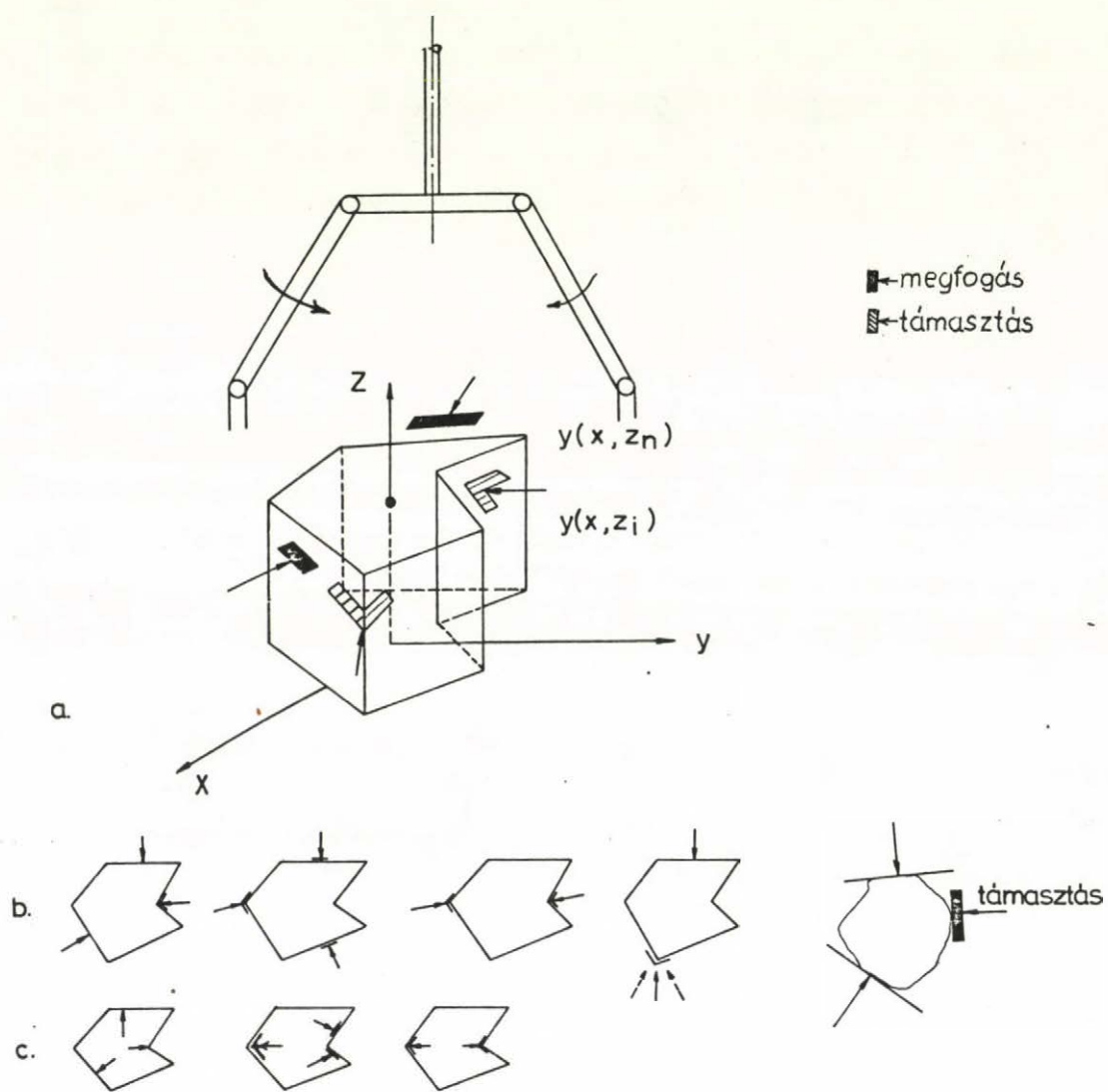
a./ *A hossztengele mentén változó profilu tárgy /15. ábra/*

Elsősorban az ujjak hosszirányu kiképzésére kell tekintettel lenni, ha a tárgy és a megfogó hossztengele párhuzamos /15.a ábra/. Alakzáró megfogáshoz olyan rövid ujjpercekből álló, két- vagy többujju megfogó szükséges, amely a $z(x,y)$ görbét az alkotók mentén követni tudja - legalább szakaszonként. Henger-szimmetrikus tárgyaknál $x^2+y^2=f(z)$.

A tárgy kicsuszása ellen - egyszerű megfontolások alapján megállapítható, hogy - a $\partial f(z)/\partial z > 0$ szakaszokon célszerű a tárgy megtámasztása olyan esetekben, amikor az alakzárási lehetőségek korlátozottak ill. megmunkálás vagy munkadarab -csoport váltása miatt változik a $z(x,y)$ leírógörbe egy-egy részlete.

A tárggyal végzett manipulálás során a sulyerő iránya /esetleg az ébredő centripetális és Coriolis erő eredője/ és a megfogás tengelye nem párhuzamos /ellentétes irányúvá is válhat/. Ilyen esetekben

- 1./ a tárgyat eleve megtámasztjuk felülről, vagy
- 2./ a $\partial f(z)/\partial z < 0$ szakaszokon is felfekszik az ujjpercek egy-része.



16. ábra.

Természetesen vannak olyan manipulációs feladatok is, amelyeknél a tárgy eredeti függőleges z tengelyét csak önmagával párhuzamosan kell /ládák, dobozok rakodása/ vagy lehet /folyékony anyaggal telt pohár/ mozgatni.

Ha a megfogó tengelye merőleges a tárgy szimmetria tengelyére /15.b ábra/, a megfogó pofák /vagy ujjperecek/ keresztmetszetének profilja lesz változó. 1./ bele kell, hogy férjen a kis-átmérőjű környezet profiljába, ill. azt a lehetőségek szerint kövesse és itt is érvényes, hogy a $\partial f(z)/\partial z > 0$ szakaszokon biztosabb a megfogás, a $\partial f(z)/\partial z < 0$ szakaszokon a megfogott tárgy kicsuszhat; ezt a felületrészt forgatáskor kell megtámasztásra felhasználni.

b./ A megfogás /és a tárgy/ tengelyére merőleges síkban nem körkeresztmetszetű tárgy megfogása

Ilyen típusu tárgyat vázoltunk a 16.a ábrán. A z tengelyre merőleges metszet ekkor a megfogó ujjainak a számát és elhelyezését befolyásolja. Ideális alakzáró körbefogás általában körkeresztmetszetű - vagy attól csak kismértékben eltérő - tárgyaknál például megoldható külső megfogás esetén felfújható gumigyűrűvel, belső furatos megfogásnál gumimuffal. Ezekről eltérő formákra a megfogó ujjaira az adott munkadarabhoz a kerület minél hosszabb szakaszán illeszkedő pofákat kell felszerelni.

Általános esetben a tárgyat két vagy több ujjal úgy kell körbefogni, megtámasztani, hogy a szorítóerők eredője a tárgyat az ujjak közül oldalirányba ne csusztassa ki. Ezért határozza meg a tárgy alakja a megfogó ujjainak számát és elhelyezését a megfogó kerülete mentén.

Amennyiben a megfogásra rendelkezésre áll két párhuzamos felület - lehetőleg a súlypont közöttük legyen -, elegendő a kétujju megfogó. Egymáshoz szögben hajló konvex és konkáv felületek-

nél már harmadik ujj is szükséges, amely a konvex oldalak összetartásának irányában megtámasztja a kicsuszni akaró tárgyat /16.b ábra/. Körivekből összerakható keresztmetszetű testeknél az érintőket /érintősíkokat/ kell figyelembe venni ill. azok összetartását.

Forgatott tárgyaknál mindig célszerű megtámasztást alkalmazni. Amint a 16.b ábrán látható, a sarkos kiképezésű szorítópofa két ujj feladatát is elláthatja. Természetesen ekkor a tárgy - megfogó pontosabb orientálására van szükség tárgykeresésnél. Ha a tárgyat belső furatánál, nyílásánál kell megfogni, akkor a 16.a ábrarészletet furatkonturként kell vizsgálnunk. Azon túlmenően, hogy az összezsukott megfogó ujjainak ebbe a térbe bele kell férniük, az ujjak számát és elhelyezését a külső megfogásnál követett gondolatmenettel kell meghatározni. A c ábrarészlet mutatja, hogy a tárgyat belülről ki kell támasztani, hogy ki-egyensúlyozatlan erők hatására a tárgy-megfogó relativ helyzete ne változzék meg. Ezzel a tárgy lehelyezésének pontosságát növeljük a későbbi műveletekhez, valamint a megfogóhoz kötött koordinátarendszerben a tárgy helyzete jól definiált lesz.

8.2 MEGFOGÓK ALAKRA ADAPTIV MEGOLDÁSAI

A megfogók alakra adaptiv megoldásai közül két, egymással alapvetően ellentétes kiképzési módot emelünk ki:

8.2.1 Három- vagy többujjas megfogók rugalmas vagy izelt elemekből [2, 8, 12, 13, 15, 17, 23, 29];

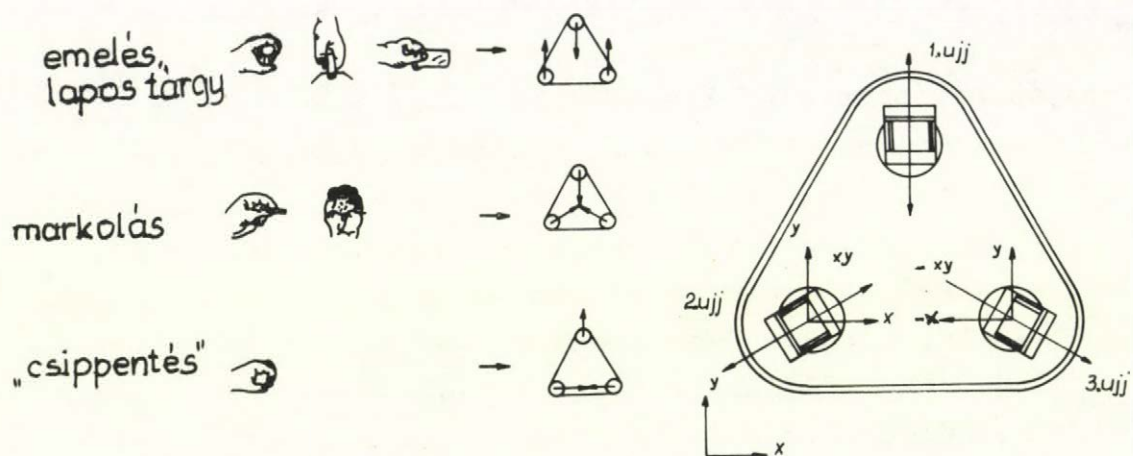
8.2.2 Cserélhető vagy állítható pofákkal ellátott megfogók [32, 33].

8.2.1 Háromujju megfogók, adaptivitás tárgytípusokhoz

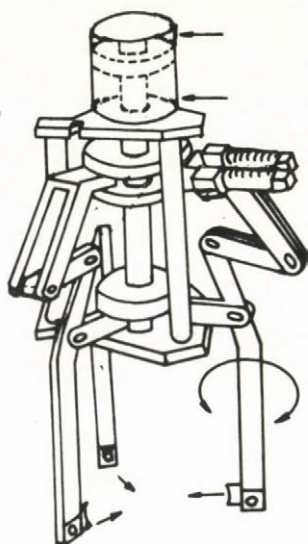
A háromujju megfogót mind ipari robotoknál, mind pedig kéz-protézis készítésére használták az irodalom szerint. Alapvetően az emberi kéz működésének elemzéséből indultak ki; azaz megvizsgálták, hogy különféle tárgyalakok, abszolút és relatív méretek függvényében miképpen módosul a kéz és az ujjak funkciója, helyzete, mozgása. Ezt azért hangsúlyozzuk, mert a másik utja e feladat megoldásának a tárgy anyagából és méreteiből kiindulva különféle fizikai jelenségek felhasználása /pl. vákuumos szívás, mágneses jelenségek/ az emberi kéz mozgásformáitól elszakadva. A 17.a ábrán az emberi kéz ujjainak szerepét és a megfelelő robot-ujj elrendezést láthatjuk tipikus tárgyformákra. A robotujjak forognak, nyitnak ill. zárnak. Egyébként külső és belső megfogás is lehetséges az ujjak kifelé, ill. befelé forgatásával / xy , $-xy$ irány/; a "csippentés" műveletnél az egyik ujjat nem használják. Az ujjak ipari robothoz készült kivitelnél egyetlen izból állnak /17.b ábra/, ezt a kezet nagyobb méretű alkatrészek, lemezek megfogására alkalmazzák. Más példánál rugalmas gumiujjakat használnak belső oldalukon merevebb sávval, hogy a görbület iránya meghatározott legyen /17c ábra/. Izeiből álló, forgatott ujjakat a 18.a és b. ábrákon láthatunk; a szükséges szögelfordulást fogaskerékrendszerrel oldják meg /19. ábra/. Ugyanez kéz-protézis formára az ujjhajlító flexibilis kábel-fogaskerék megoldással a 20. ábrán látható. A Kyotói Egyetem Automatizálási Laboratóriumában [8] megvizsgálták a körben elhelyezett, egymáshoz 120° -kal eltolt, három robotujjból álló megfogót a stabil tárgymegfogás szempontjából. Az ujjak rugalmasak; az x_0 középponttól nyitott állapotban δ_i , a tárgy megfogása után δ_{i0} távolsággal jellemezve /21. ábra/.

A tárgyat ipari TV kamera azonosítja. A tárgy jellemző adatai:

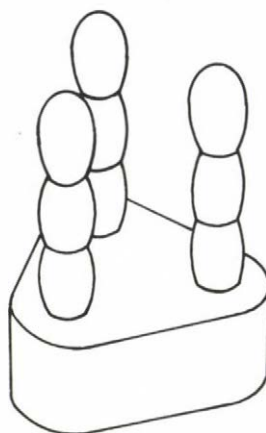
x_{s0} - a súlypont helye,



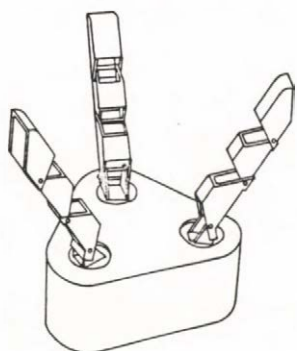
a. alapmozgáselemzés 3 ujjú kézre



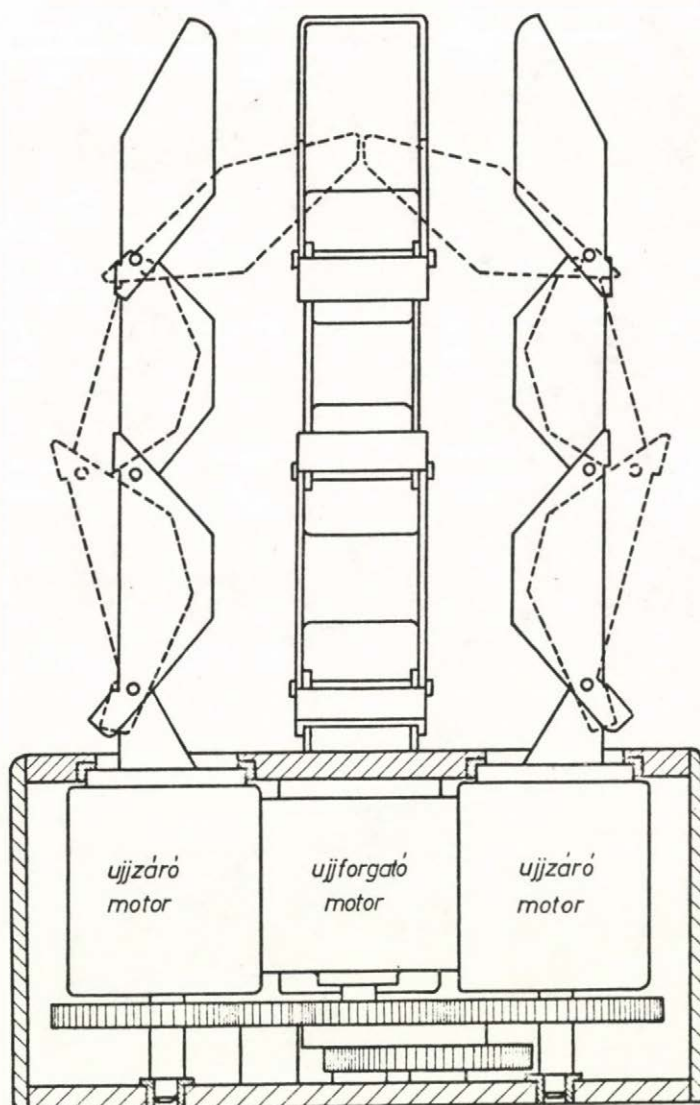
b. ipari kivitel 3 ujjú kéz esetén



c. háromujjú kéz rugalmas ujjakkal

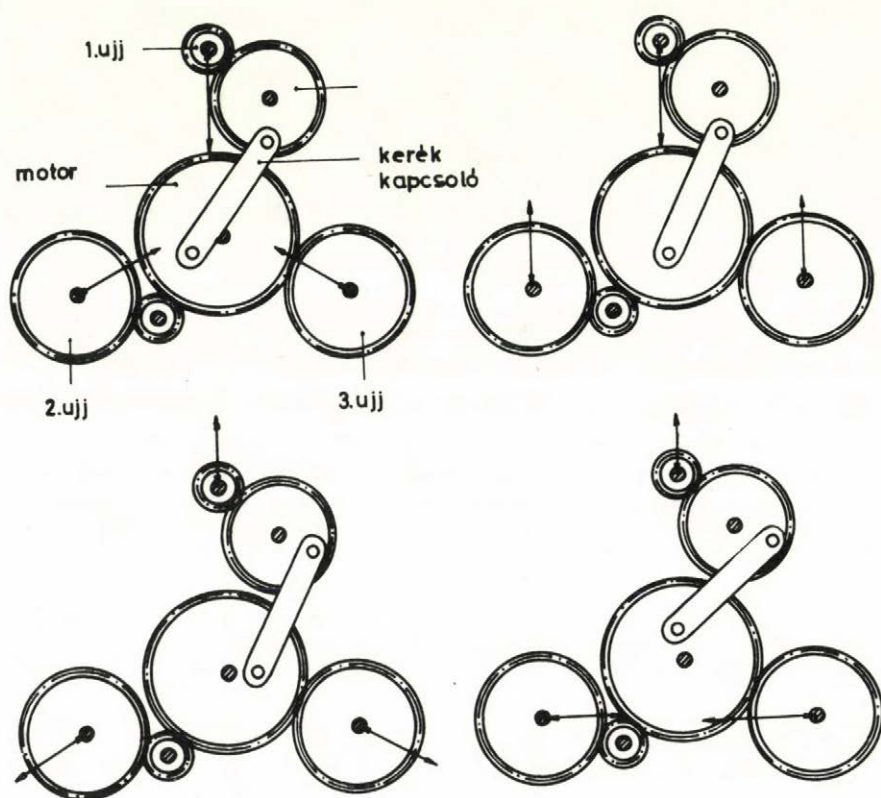


a.)

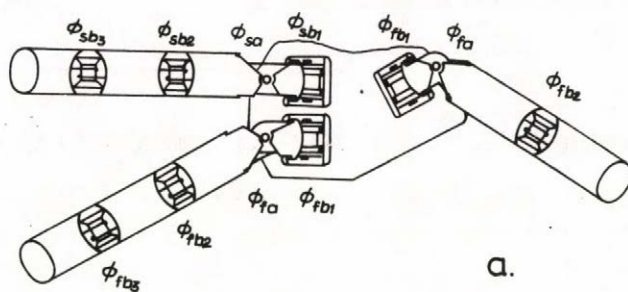


b.)

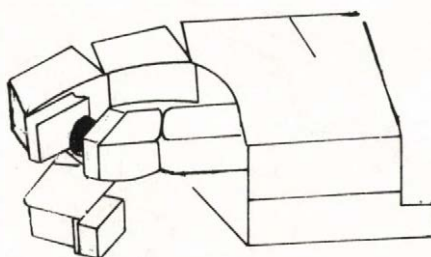
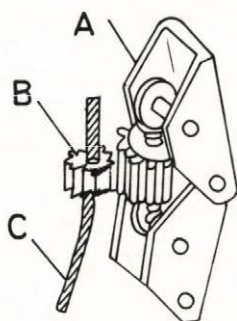
18. ábra



19. ábra.



Háromujjú kéz



b.

Protézis

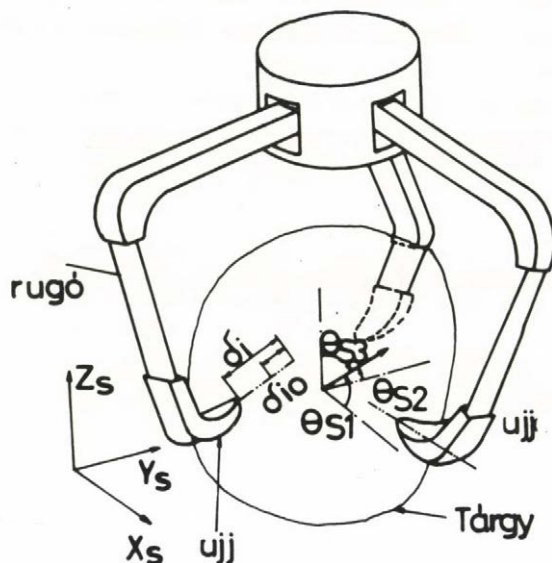
20. ábra.

$\theta_{s0}/\theta_{s1}, \theta_{s2}, \theta_{s3}/$ - a tárgykoordináta-rendszernek a térhez kapcsolt $/x_s, y_s, z_s/$ koordinátarendszerrel bezárt szöge.

A rendszerhez tartozó számítógéppel kiszámítják a tárgy és a megfogó relatív helyzetét.

Stabilnak tekinthető a megfogás, ha a tárgy-megfogó relatív helyzetének az előírttól /ideálistól/ való eltérése esetén a megfogóban ill. az ujjakban ébredő erő a visszaállítás irányába hat.

A felvétel matematikai kezelése: az alább felírt potenciálfüggvénynek megfogáskor minimuma legyen:



21. ábra.

Tárgy megfogása 3 ujjú
kézzel

$$(1) \quad U = \sum_i \int_{\delta_o}^{\delta_i} f_i(\delta_i) d\delta_i + U_o(X_{so}, \theta_{so})$$

ahol U_o - a Föld gravitációs terével meghatározott potenciális energia,

i - az ujjak száma,

$f_i(\delta_i)$ - az i . ujjban ébredő erő

δ_i - az i . ujj elmozdulása.

Az egyenlet jobboldalán az első tag az ujjak munkája a tárgy megszorításakor. A függvényminimum helye nyilván a tárgy X_{so} , θ_{so} /hely, helyzet/paramétereitől függ.

A tárgyra ható erő és nyomaték az alábbi lesz az (1) egyenletből kiindulva:

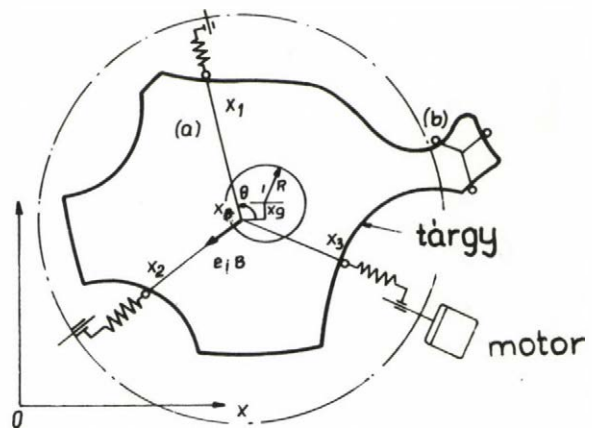
$$(2a) \quad - \left(\frac{\partial U}{\partial X_{so}} \right)' = F_o; \quad (2b) \quad - \left(\frac{\partial U}{\partial \theta_{so}} \right)' = M_o$$

A kifejezés vektoros és a vessző a vektorok és mátrixok transzformálását jelenti. A megfogást vizsgálva: F_o és M_o nulla akkor, ha a X_{so} és θ_{so} a stabil állapotra jellemző értékek. Ha ΔX_{so} és $\Delta \theta_{so}$ elemi eltérést tételezünk fel, akkor ΔF_o és ΔM_o visszatérő erő, ill. nyomaték ébred. Ekkor a minimum körül a következő összefüggés érvényes:

$$(3) \quad \Delta F_o' \Delta X_{so} + \Delta M_o' = - \left| \frac{\partial U}{\partial X_{so}} \right|_{\Delta} \Delta X_{so} - \left| \frac{\partial U}{\partial \theta_{so}} \right|_{\Delta} \Delta \theta_{so} \leq 0$$

Kétdimenziós tárgy stabil megfogása

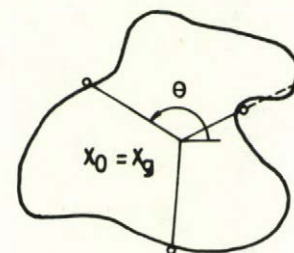
A 22.a ábrarészleten látható tárgyat pl. lemezből vágták ki. A megfogást az a./ és b./ jelű ujj-tárgy elrendezésben is elképzelhetjük, azonban nyilvánvaló, hogy a súlypont körülfogása, a stabil tárgytartás az a./ változatnak fog megfelelni. Az i .



a.

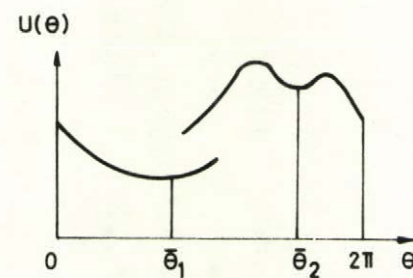
a. kétdimenziós tárgy stabil megfogása

22. ábra.



b.

b. helyi minimumok $U(\theta; x_0 = x_g)$
potenciálfüggvényre



ujjban ébredő f_i erőarányos a v_i deformációval.

$$(4) \quad f_i = k_i v_i = k_i \delta_i + k_i d$$

ahol k_i - a rugóállandó,

d - a rugóvég elmozdulása, melyet a motor hoz létre megfogáskor.

A síkhoz rögzítettük az $X = (x, y)$ koordináta rendszert.

A kézcentrum koordinátái: $X_o = (x_o, y_o)$

A tárgy súlypontjának koordinátái: $X_g = (x_g, y_g)$

Az ujjpozíciók $i=1,2,3$ $X_i = (x_i, y_i)$

A kéz helyzetét az első ujj és az x tengely által bezárt θ szöggel jellemezzük.

A kéz-tárgy kívánt helyzetet két feltétel teljesítése határozza meg:

- 1./ stabil állapot a vízszintes síkban;
- 2./ erő és nyomaték egyensúly függőleges síkban.

Az 1./ feltételhez felírhatjuk a potenciálfüggvényt:

$$(5) \quad U = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 k (\delta_i + d)^2$$

Az U_o potenciál nulla a vízszintesen mozgó tárgyra. A 22. ábrán látható, hogy az ujjak helyzetét az x, y és θ paraméterek meghatározzák, $U = U(x, y, \theta)$; ezt a függvényt kell minimalizálni.

A 2./ feltételhez az

$$(6) \quad |X_o - X_g| \leq R$$

összefüggés kapcsolható; tehát a tárgysúlypont és a kézcentrum legyen közel egymáshoz.

A számítógépes program lépései:

- 1./ Meghatározza a vizuális input segítségével az x_g lokális tárgysúlypontot, erre "helyezve" a kézcentrumot a θ szög-re optimizálja az U függvényt. Eredmény: θ_k /vízszintes egyensúly/. Lásd 21. ábra.
- 2./ A θ_k környezetében körívекkel helyettesítve a tárgy peremét x és y -ra optimizálja az U potenciálfüggvényt.


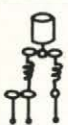




A számítások vége lehet a "stabil megfogás lehetetlen" eredmény is.

A vizsgált kéz 3 rugalmas ujjból és 1 hajtómotorból áll. Ez nem az egyetlen lehetséges elrendezés, hanem a 22. ábrán látható módon más megoldások is vannak. A rugók /rugalmas elemek/ száma meghatározza az ujjak szabadságfokát. A 23. ábrán a stabil megfogás feltételei láthatók a motor és a rugalmas elemek elrendezése és a tárgyformák figyelembe vételével.

Ujjak izekből, adaptivitás változó keresztmetszethez

























A megfogó ujjainak izekre osztását japán és német kutatók egyaránt vizsgálták és az adaptivitás nagy lehetőségét látják ebben a módszerben. A 3 ujjú megfogóknál már láthattunk néhány megoldást a 20-24. ábrákon.

A Tokiói Műszaki Egyetemen kifejlesztett hajlékony megfogó [10] felépítése olyan, hogy az izekből álló ujjak fokozatosan rásimulnak a tárgyra. Természetesen a tárgy méretei és az izek hossza nem lehet független egymástól. A 24. ábrán a megfogás folyamata követhető a hátrahuzott ujjpozíciótól /baloldali részlet/ a tárgy körbefogásáig. A 25. ábrán a megfogó felépítése látható; külön működtető huzalt használnak a megfogáshoz és az elengedéshez. A megfogó adaptív alakhoz és mérethez, de sok hátrányos tulajdonsága van: az izek hossza a

Forma	1M-1S	1M-2S	1M-3S	2M-2S	2M-3S	3M-3S
A						
B	1	1	1	2	2	3
C	1	2	3	2	3	3

a. — motor A — mechanika
 b. — rugó B — szabályozott erő
 c. — ujj C — szabadságfokok száma

a., 3 ujjú robotkezek osztályozása

Tárgy	0S	1M-1S	1M-2S	1M-3S
1				
2	* 			
3	—			
4	—	* 	* 	* 
5	—			—
6	* 	* 	* 	* 
7				

Jelmagyarázat: * csúszás v. elfordulás lehetséges

b., Stabil megfogás lehetőségei a 3 ujjat hajtó motorok és a rugalmas elemek száma szerint

tárgyak tagoltságát korlátozza, kiejtheti a bonyolultabb, kis-méretű tárgyakat. Az izek száma adott munkadarab-családon belül állandó, a biztos megfogáshoz körbezárja a tárgyat - illetve ezt tenné, ha hozzáférne - befogókészülék használata esetén ütközések lehetnek. Az elemek soros működése a megfogási ill. elengedési időt növeli.

8.2.2 Cserélhető vagy állítható pofákkal ellátott megfogó

Az ipari robotoknál az egyszerű, gyors és teherbíró megfogó építésre törekednek. Az adaptivitást mérettartományokra tagoltan valósítják meg konstrukciós módszerekkel és a mérettartományok között szerkezeti elemek cseréjével. Ebben a témakörben Weuer és munkatársai [32,33] az iparilag hasznosítható megoldások feltárásában alapvető munkát végeztek. A 2. táblázat az általuk javasolt módszerek felsorolását tartalmazza. Ezek közül ők elsősorban a megfogóújjak végén elhelyezett cserélhető vagy formálható pofák kiképzésével foglalkoztak. Első nagy kísérletsorozatuk [17] a műanyagból előállított cserélhető pofák lehetőségeit értékelték. A 26. ábrán látható a csapokkal merevitett, alakzáró megfogást elősegítő műanyagelem felerősítése a megfogóújjra. A módszer az alábbi követelményeket elégíti ki:

egyszerű gyártási eljárás

gyors előállítás

olcsó

pontos alakmásolás /az IR pozicionálási pontosságán belül van/

kis kopás

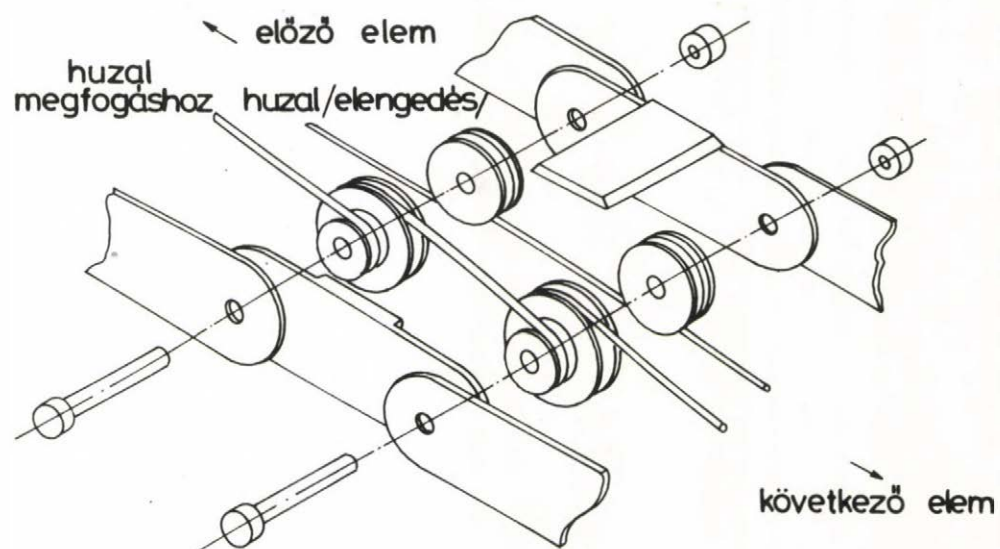
környezeti hatások tűrése.

Általában a következő eljárások alkalmazhatók a cserélhető pofák előállítására:

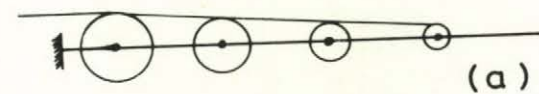
2. táblázat

MEGFOGÓK ADAPTIVITÁSA ALAKRA ÉS MÉRETRE

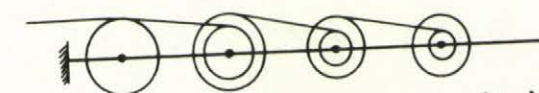
Sor-szám	Megfogótípus	Alakhoz illesztés lehetőségei
1	Különféle munkadarabokhoz külön megfogó	Kézi vagy automatizált táras csere
2	azonos geometriájú munkadarabokhoz széles mérettartományhoz alkalmas megfogó	mérettartományon belül önműködő, azon kívül csere /L.I/
3	cserélhető ujjak /pofák/ a munkadarabok szerint	kézi vagy automatizált tárascsere, nagyobb eltéréseknél teljes megfogó csere
4	széles mérettartomány és pofacsere munkadarab forma szerint /2 és 2 kombinációja/	munkadarab családon belül önműködő. Ezen kívül megfogópofa ill. megfogócsere
5	Többszörös megfogó különféle munkadarabokhoz	munkadarab szerint átfogás Egyéb esetekre megfogócsere
6	Többszörös megfogó széles mérettartományra /2 és 5 kombinációja/	Mérettartományon belül automatikus, munkadarabcsaládon belül átfogás. Egyéb esetekre megfogócserék
7	Többszörös megfogó pofacserevel /3 és 5 kombinációja/	munkadarab-családonként átfogással. Egyéb esetekre pofa- és megfogócsere
8	Többszörös megfogó széles mérettartományra és pofacserevel	Mérettartományon belül automatikus, munkadarab féleségenként átfogás. Egyéb esetekre pofa- és megfogócsere
9	Elasztikus elemes megfogó	automatikus
10	Mozgó, többelemes ujjas megfogó	automatikus
11	Megfogó vezérelhető ujjakkal	átprogramozható



a. a mechanika és hajtás egy eleme

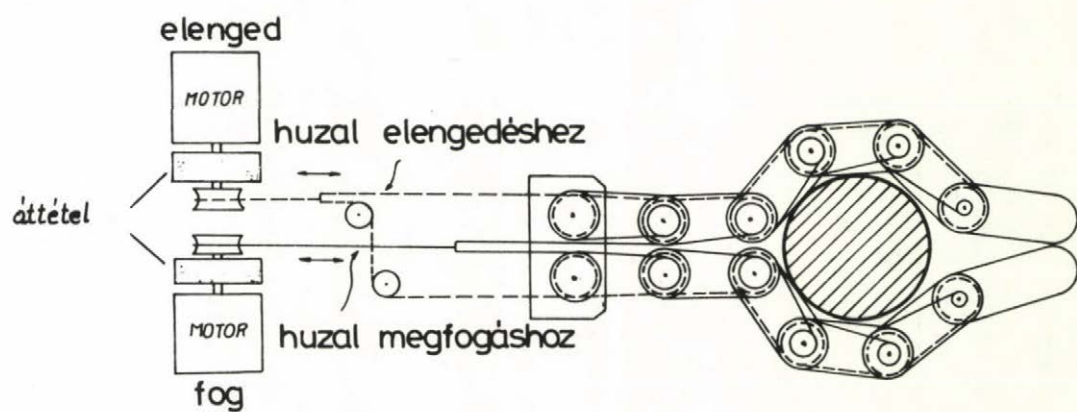


(a)



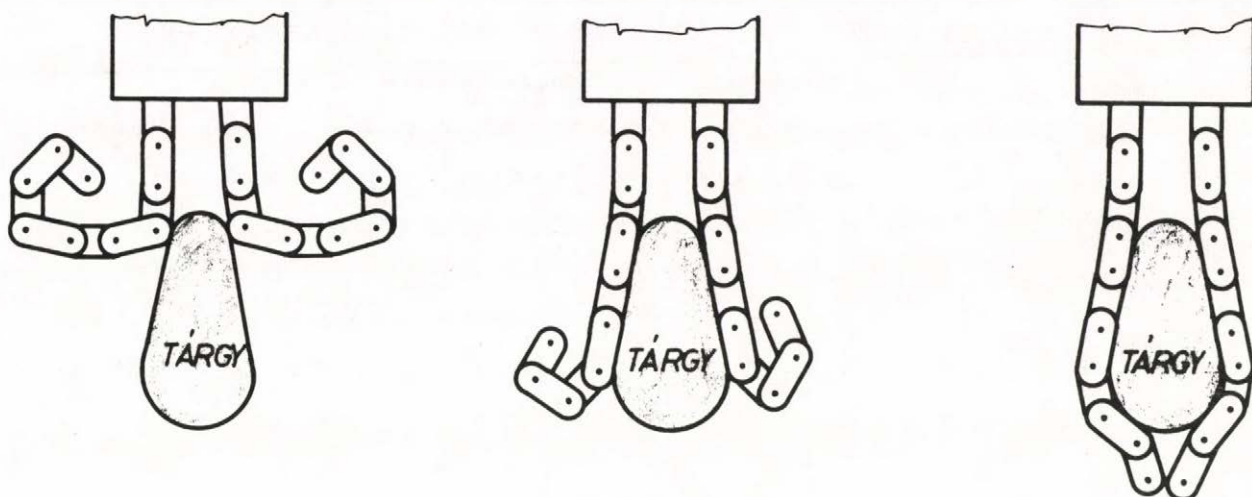
(b)

b. a hajtásátétel két tipusa



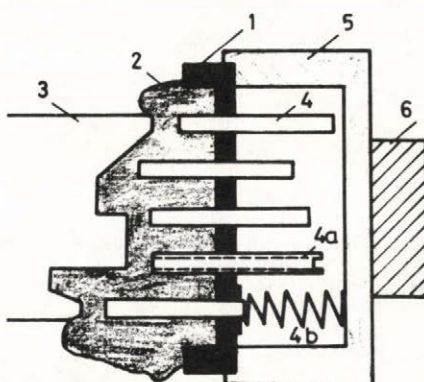
c. mechanika

25. ábra.
Hajlékony megfogó [10]



24. ábra

Hajlékony megfogó [10] működése



1. Tok
2. Betét (műanyag)
3. Tárgy
4. Merevítő csapok
5. Tartóelem
6. Megfogó ujjja

26. ábra.

Cserélhető műanyagpofa [33]

alakváltoztatás megmunkálással - pl. forgácsolással

drága, de jó minőségű;

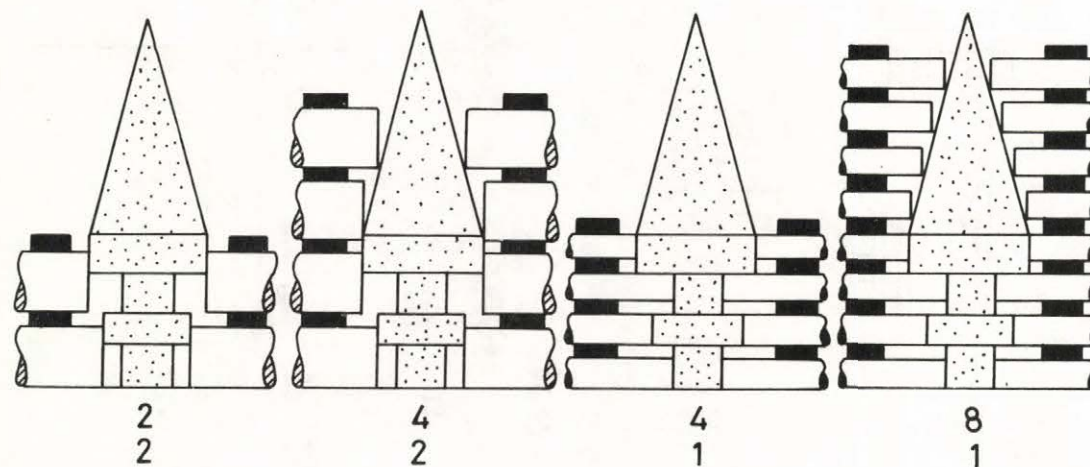
öntőmasszás leképezés - öntés műanyagból - lassu, katalizátorok kellenek, de pontos formát ad, 180 C⁰-ig megfelel, korrozióálló;

leképezés gyurható masszával - kikeményedő, 200 C⁰-ig használható, könnyűfémekhez hasonló tulajdonságu, a formát nem mindig tölti ki tökéletesen, gyors eljárás.

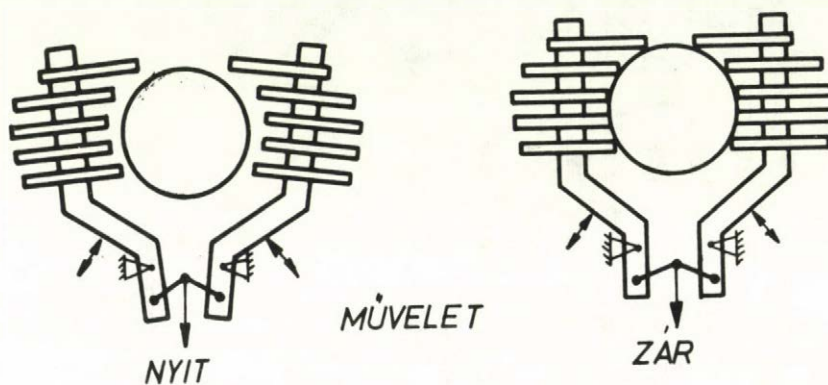
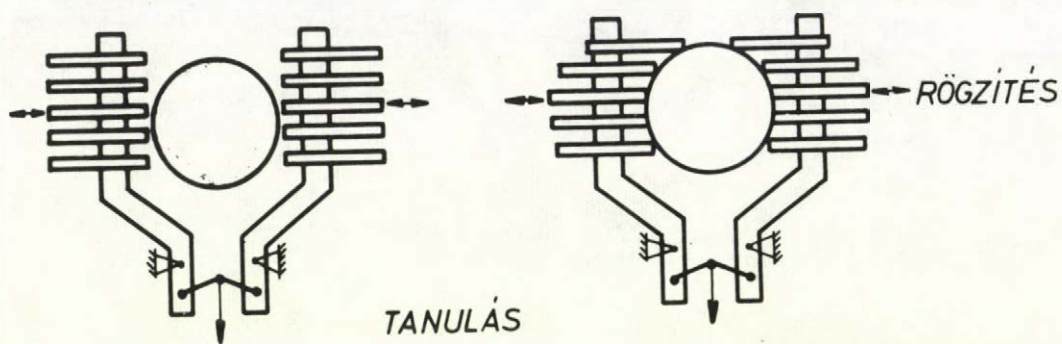
A kísérletek során ez utóbbi eljárással 15-20 DM/pár árban különböző keménységű, felületű és terhelhetőségű műanyag pofákat készítettek és vizsgáltak meg.

A formálható /alakítható/ pofák területén csapos megoldásokat javasoltak a szerzők. A két /vagy többujjas/ megfogók akár teljes hosszukban változtatják profiljukat /27. ábra/. A változtatás osztását a munkadarab tagoltságától függően kell megválasztani. A 28. ábrán látható az ilyen típusu ujjakkal felszerelt megfogó "tanulási" fázisa egy újfajta tárgy megjelenésekor. A csapok rögzítése után "elkészült" az alaknak és méretnek megfelelő profilu megfogó, amely ezután nyitáskor és záráskor ezt a profilt megőrzi. A 29. ábra a szerzők által javasolt pneumatikus rögzítésű csapot mutatja be.

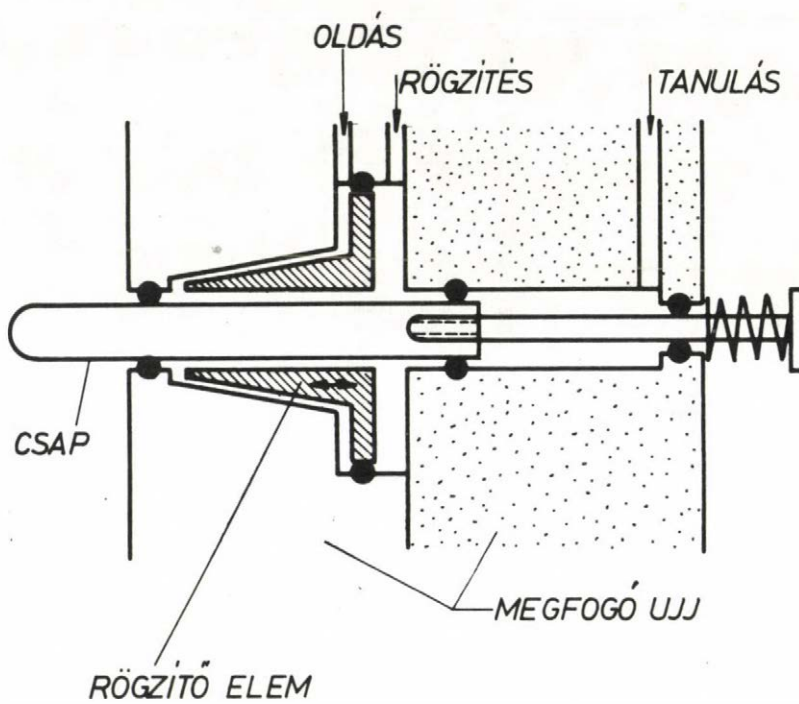
Cserélhető megfogóujjakat a szerszámgép kiszolgálásra, rakodásra használt egyszerűbb robotoknál alkalmaznak, átszereléssel. A 30.a ábrarészleten a munkadarab alakjától függő ujj+pofa kialakítást láthatunk. A b ábrán a külső ill. belső megfogáshoz kell az ujjak cseréje. A c ábrán [18] alapján egyszerűen cserélhető ujjblokkot láthatunk.



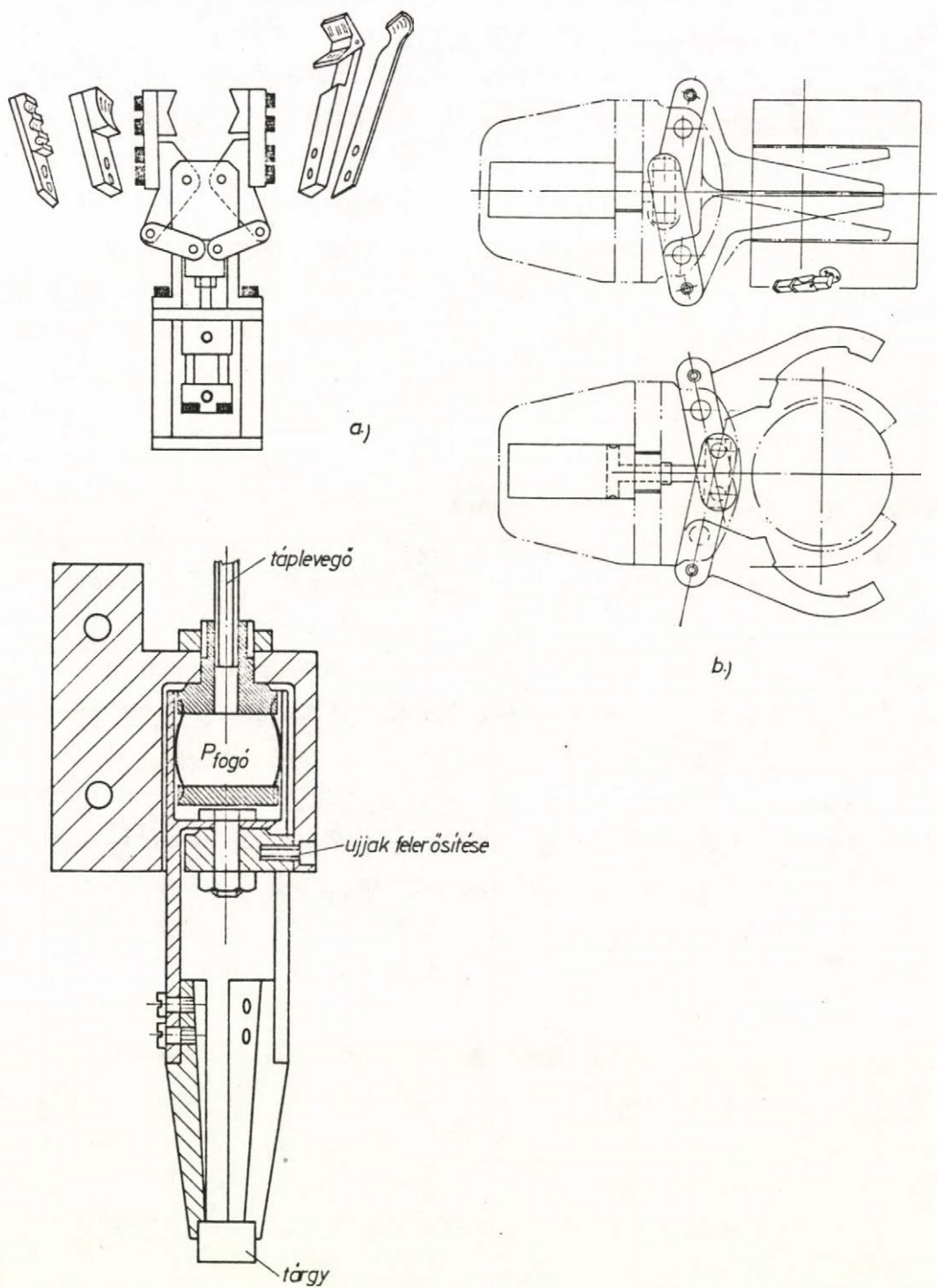
27. ábra.
Megfogó ujjak profilváltoztatása



28. ábra
Profilkialakítás
tanulással



29. ábra Csap beállítása



30. ábra
Cserélhető ujjak

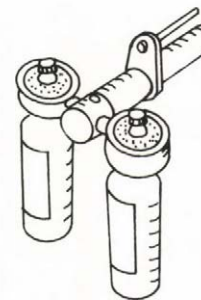
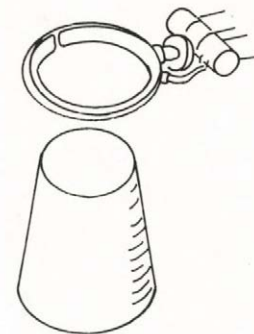
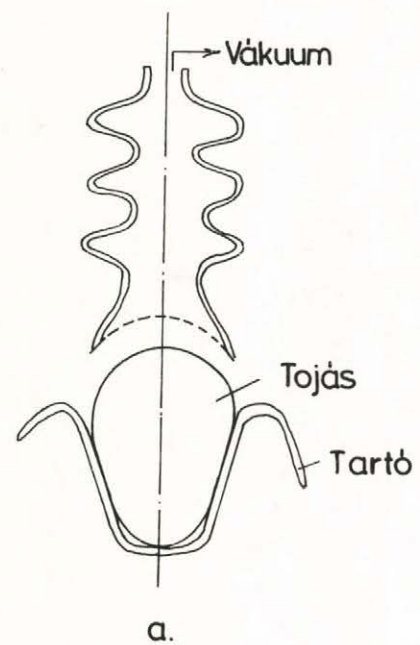
9. A MEGFOGÓ SZORÍTÓ EREJE /SZIVÓ EREJE/

A tárgy tartásához szükséges erő függ a megfogás módjától /markolás, surlódó erővel tartás/, a munkadarab súlyától, a súlypont helyétől, a megfogott tárgy felületének és anyagának minőségétől stb. A befolyásoló tényezők száma rendkívül nagy, tulajdonképpen minden konkrét feladat újabb megfogó kialakítást, méretezést igényelne. Természetesen vannak olyan típusfeladatok, amelyek egy-egy megfogó csoporthoz kapcsolhatók, de egyes esetekben a paraméterek értéke különleges követelményeket jelent, vagy a paraméterek olyan széles tartományban változnak, hogy a szokásos tűrési határokon kívül esnek.

A pneumatikus nyomásos /és nyomáskülönbséggel dolgozó/, valamint a szivókorongos megfogók által kifejtett erő nagyságát a segédenergia /sűrített vagy ritkított levegő/ nyomásával módosíthatjuk [11, 13, 16, 34]. A 8.a ábrarészlet az UNIMATION cég megfogójának szorítóerő-tápnymás összefüggését mutatja, a b ábrarészleten pedig hasonló grafikont láthatunk belső megfogással emelt pohár, ill. pohár formájú tárgyra /ilyen tulajdonképpen a 33.b ábrán látható megfogó is/. A 32. ábrán a vákuumos megfogók /a részlet/, illetve jelleggörbéik láthatók. A b részlet a "házipados" méretezéshez nyújt segítséget, a c részlet a Liebfried cég által közölt diagramm. A szivóerő a gumitappancsok méretével és számával /pl. lemez alakú tárgyak esetén/ növelhető szükség szerint. Ilyen megfogók sima, sík, gömbölyű felületekhez alkalmazhatók, ahol a felfekvés biztos és egyenletes és a tappancs sem sérülhet meg /33.a ábra/.

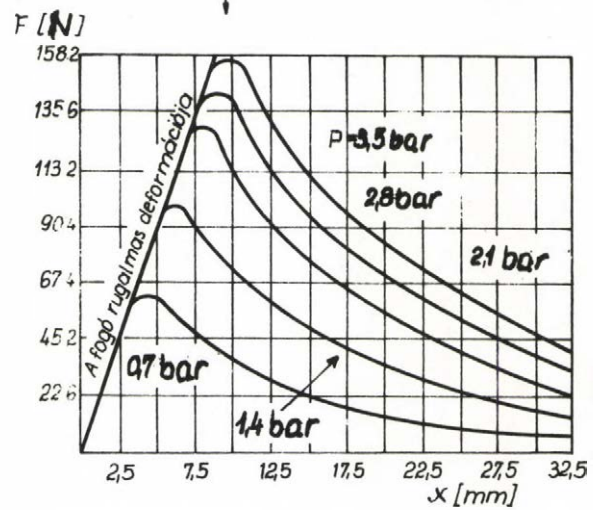
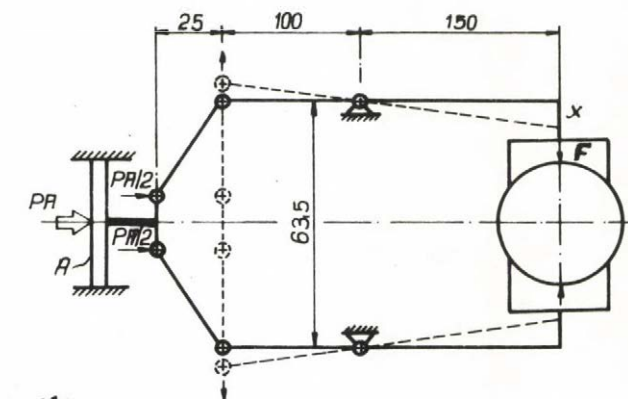
A szorító erő módosítása ujjak cseréjével is megoldható, amint azt a 34. ábrán látjuk - itt a megfogó-ujjak rugólapok.

A szükséges szorítóerő meghatározásánál a μ surlódási tényező /a pofák és a tárgy között/ és a tárgy súlya / G / ismeretből lehet kiindulni. A minimális szorítóerő szükséglet N_{min} :

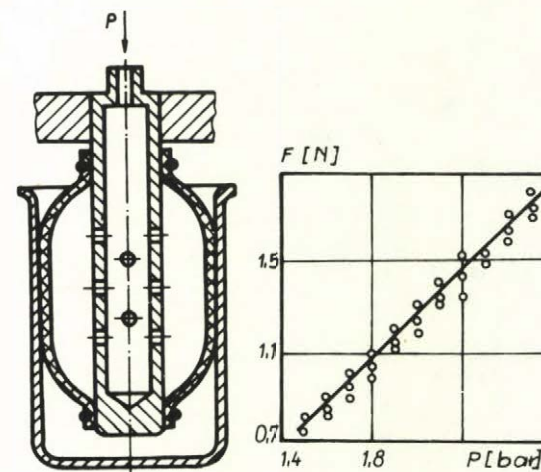


b.

33. ábra.
Pneumatikus megfogók



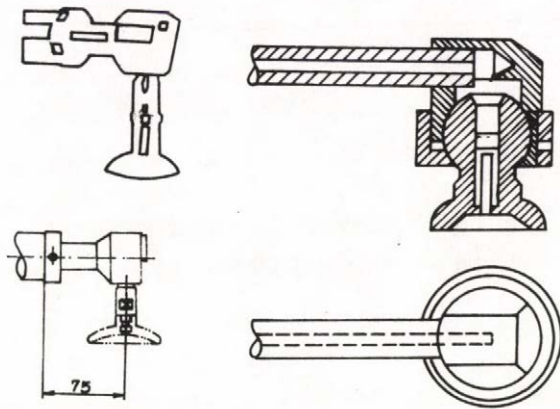
a.



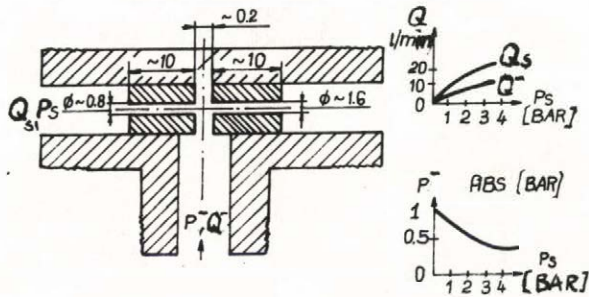
b.

31. ábra.

Szorító erő a tápnyomás függvényében



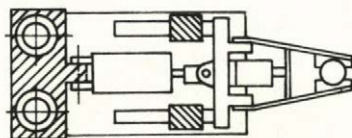
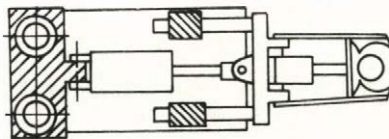
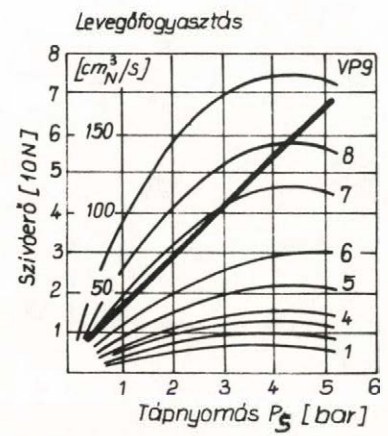
a.



b.

32. ábra.

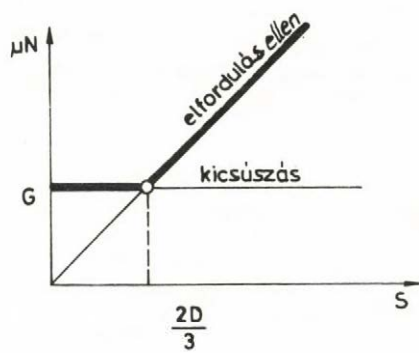
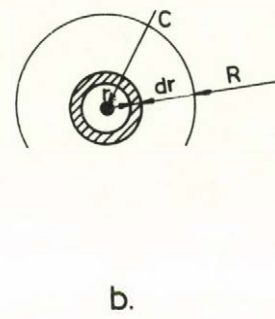
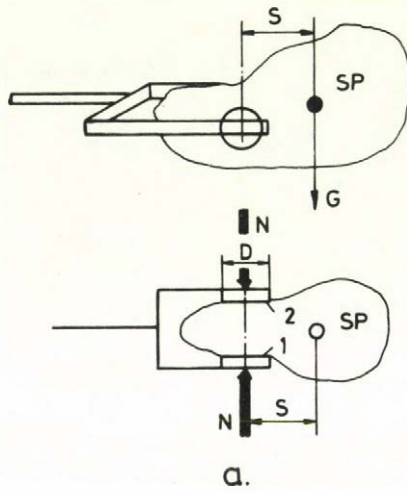
Vákuumos megfogók



119-10

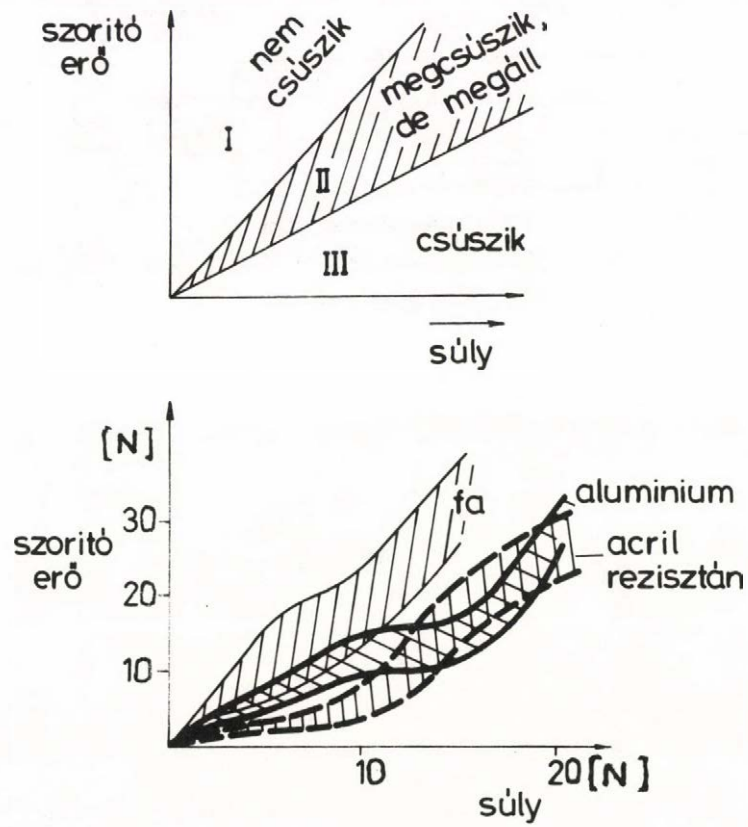
34. ábra.

Rugólapos megfogó



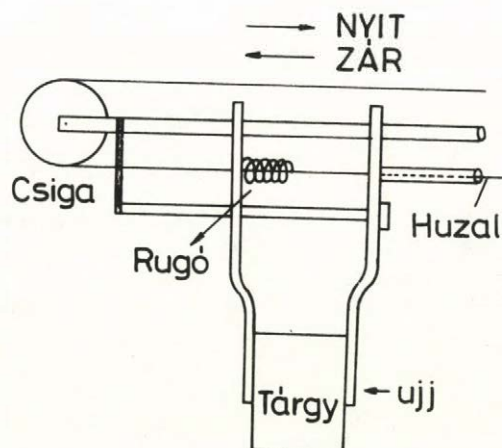
35. ábra.

Tárgy megfogása súlyponton kívül



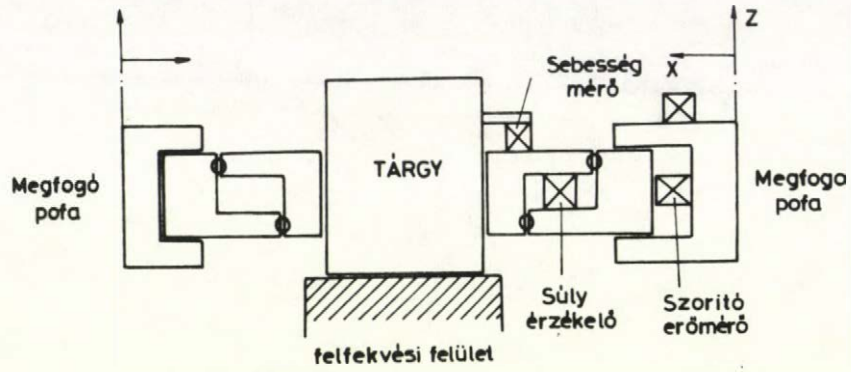
36. ábra.

Surlódási tényező változása [26]

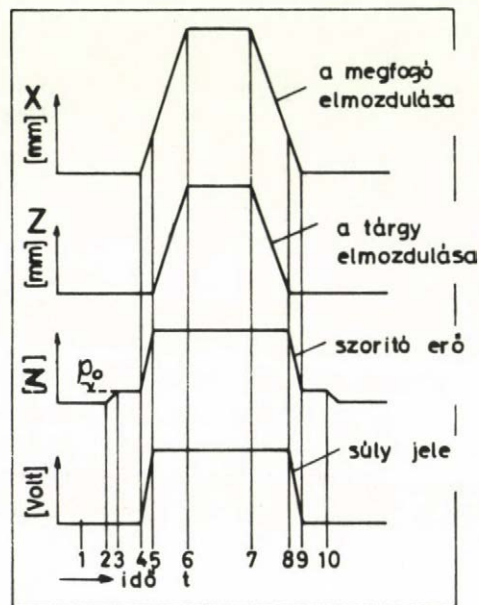


37. ábra.

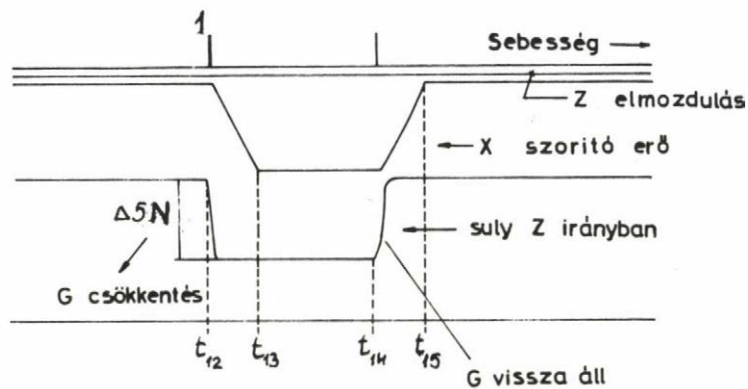
Nagoya megfogó erőszabályozással



a.



b.



c.

38. ábra.

Szorítóerő szabályozás [9]

$$N_{\min} = G/\mu$$

Ennél nagyobb szorítóerőt kell kifejteni, mert számolnunk kell

a./ n biztonsági tényezővel;

b./ a tárgy szállításakor, forgatásakor ébredő erőhatásokkal.

A minimális, ill. szükséges szorítóerő számításánál általában feltételezzük, hogy a tárgy súlypontja a szorítóerők hatásvonalába esik /a pofák között van/. Egyszerű megfontolással beláthatjuk, hogy ha ez a feltétel nem teljesül, a szorítóerőt növelni kell. A 35. ábrán kétujju megfogóval tartott tárgy látható, és a súlypont nem a pofák közé esik. Az N szorítóerőtől s távolságban koncentrált G súlyerő a tárgyat a megfogó pofák, mint tengely körül elforgathatja.

Ha a megfogópofák felfekvő felülete kör alakú, valamint a közöttük és a tárgy között μ surlódási tényező van, akkor a surlódó erő az 1 és 2 felületeken μN és a felületegységre

$$n_{1,2} = \frac{N\mu}{D^2\pi/4} = \frac{\mu N}{R^2\pi}$$

surlódó erő jut, ahol $D=2R$ - a megfogó pofa átmérője.

A b ábrarészleten elemi r sugaru körgyűrűre számolhatjuk a C centrum körül ébredő "surlódási nyomatékot" $/m_{1,2}/$, amely az elfordulás ellen dolgozik.

$$m_{1,2} \approx n_{1,2} 2r^2\pi dr \quad 0 < r \leq R$$

Teljes felületre integrálva:

$$M_{1,2} = \int_0^R n_{1,2} 2r^2\pi dr = \frac{2}{3} NR\mu$$

A két megfogópofa oldaláról összesen ható nyomaték elfordulás ellen:

$$M = 2M_{1,2} = \frac{4}{3} \mu NR = \frac{2}{3} \mu ND$$

A G súly nyomatéka: $M_G = SG$

Az egyensúly feltétele: $M \geq M_g$ azaz

$$\mu N \geq \frac{3S}{2D} G$$

Tehát a kicsuszás ellen szükséges szorítóerő: $\mu N \geq G$ volt, ez a minimális szorítóerő minden helyzetben, ehhez hozzáadódik az $s > 2D/3$ súlyponteltolódás tartományban az elfordulás elleni védekezés miatt egy lineárisan változó növekmény / \underline{c} ábrarészlet/.

Sakai és szerzőtársai [26] megvizsgálták a surolódási tényező állandóságát tárgyelemlés közben. Eddig feltételeztük, hogy a tárgy súlya és a szükséges szorítóerő között lineáris összefüggés van, amelynek μ arányossági tényezője a felületek minőségének függvénye. Kísérleteikben megfigyelték, hogy egy adott súlyhoz a szorítóerőt kiszámítva $N = G/\mu$, a megfogott tárgy háromféle viselkedést tanusíthat:

- a./ megcsuszik, majd kicsuszik a megfogóból, mert kicsi a számított szorítóerő;
- b./ megcsuszik, de megáll, mintha mégiscsak elegendő lenne az erő;
- c./ a szorítóerő elegendő és stabilan, megcsuszás nélkül a megfogópofák között marad.

Ugy látszott, hogy - főleg a b./ esetből következtetve - a surolódási tényező - a súlytól függően - változik. Ez a jelenség függött az anyagminőségtől is és a magyarázat szerint 1/100 mm

nagyságu szemcseleválások okozzák. A kísérletsorozat eredetileg a szorítóerő szabályozási problémájával foglalkozott, de az észlelt jelenség miatt ebben az irányban is folytatták. Jelenleg 3 anyagra /fa, aluminium, akril/ - amelyeket egyébként a robot vizuális inputja részére szinkóddal azonosítanak -, a minimális szorítóerőt meghatározzák a "csuszás mentes" /kísérletileg meghatározott/ tartományból a mindenkori tárgysúlyhoz.

A szorítóerő szabályozásával több munka is foglalkozik [9, 30, 31], ahol a fő feladat a vékonyfalu, törékeny tárgyak védelme, a változó súlyhoz igazodó szorítóerő beállítása /pl. pohár töltésénél/ és eredetük valószínűleg a protézis-kéz kifejlesztéséhez kapcsolódik. A megfogóval végzett kísérletekhez alapvető feltétel a megfelelő érzékelő rendszer fejlesztése. Vagy közvetlenül a megcsuszást érzékelik a pofákba beépített adókkal, vagy az emelt tárgy súlyváltozásából következtetnek az emelés tényére és a tartás, manipulálás közben szükséges erő-utánállításra. A súlymérésekhez nyulásmérő bélyeget használnak. Az erőszabályozást léptető motor hajtja végre, mely rugó erő ellenében dolgozik /pl. Nagoya robot/. Az elrendezés vázlata a 37. ábrán látható.

A mozgó ujjon kétállású mikrokapcsoló van a kezdőhelyzet és a tárgyérítés érzékelésére. Megfogáshoz dc mikromotort használnak ac frekvencia kimenetű tachométerrel, amely a tárgy méretére és a szorítóerőre jellemző kimenő jelet ad. A súlyt és a szorítóerőt egy-egy nyulásmérő bélyeg érzékeli. A szorítóerő lépcsőzetesen növekedik az impulzusszám /és ezzel a léptető motor elfordulása/ függvényében.

$$F = Knx$$

- F - szorítóerő
- n - impulzusszám
- x - elfordulási szög

Az indításhoz T_H időállandónál hosszabb ideig kell az áramot biztosítani, nehogy a motor visszaforogjon. Ehhez monostabil multivibrátort használnak 20 ms impulzusszélességgel $/T_H=17\text{ ms}/$.

A megfogó kis szorítóerővel kezd emelni, majd az erőt növelve a súlyerő is mérhető lesz - ennek alapján a minimális szorítóerő meghatározható. A mért súly csökkenése a célbaérést jelzi lerakáskor. Az emelési és lerakási küszöbszinteket kísérleti úton határozzák meg. Az erő növelése a súlynövekedéshez illeszkedik, megcsuszás mentes megfogáshoz állandó μ surlódási tényezőt feltételezve.

A "belgrádi kéz" szervorendszere megcsuszásérzékelőkre épül. A legújabb típus ballon alakú, $k_1=0,25\text{ imp/mm}$ érzékenységgű, a szervorendszer $k_2=300\text{ N/imp}$ szorítóerő növekedést ad, tehát a körerősítés $k=k_1k_2$; $k=0,75\text{ N/mm}$. A kéz nyitási /ill. zárási/ ideje 2 s, maximum 1 kp a szorítóerő. A villamosoldali késleltetési idő 5 ms.

Az NSzK-ban készített labormodell a súly és a szorítóerő összegéből két komparátorral léptető motor és menetes csavarorsó segítségével állítja be a szorítóerőt $/\mu$ állandó/. Az egyik komparátor a start/stop jelet, a másik a jobbra-balra utasítást adja. Megengednek egy Δz megcsuszás és a sebesség érzékelő indítja a motort a szorítóerőt növelő irányban. A μ tényező a szorítóerő és a súly ismeretében osztókapcsolás segítségével meghatározható és tárolható adat. A 38. ábrán látható a laboratóriumi modell. Az a./ ábrarészleten a mérőegység elrendezését ábrázoltuk. A b./ és c./ részletek a szorítóerő kialakulását és a súlyváltozás miatti szorítóerőváltozás folyamatát mutatják be. Az "1" jelzésű impulzus hazard jel, melyet a léptető motor start/stop jele indukál.

A megfogás folyamatával, a szorítóerő kialakulásával, általában a megfogók dinamikájával a szakirodalomban egyelőre kevés cikk foglalkozik [24, 25], inkább a módszerkeresés a jellemző ezekre; ezen a területen még sok a tennivaló.

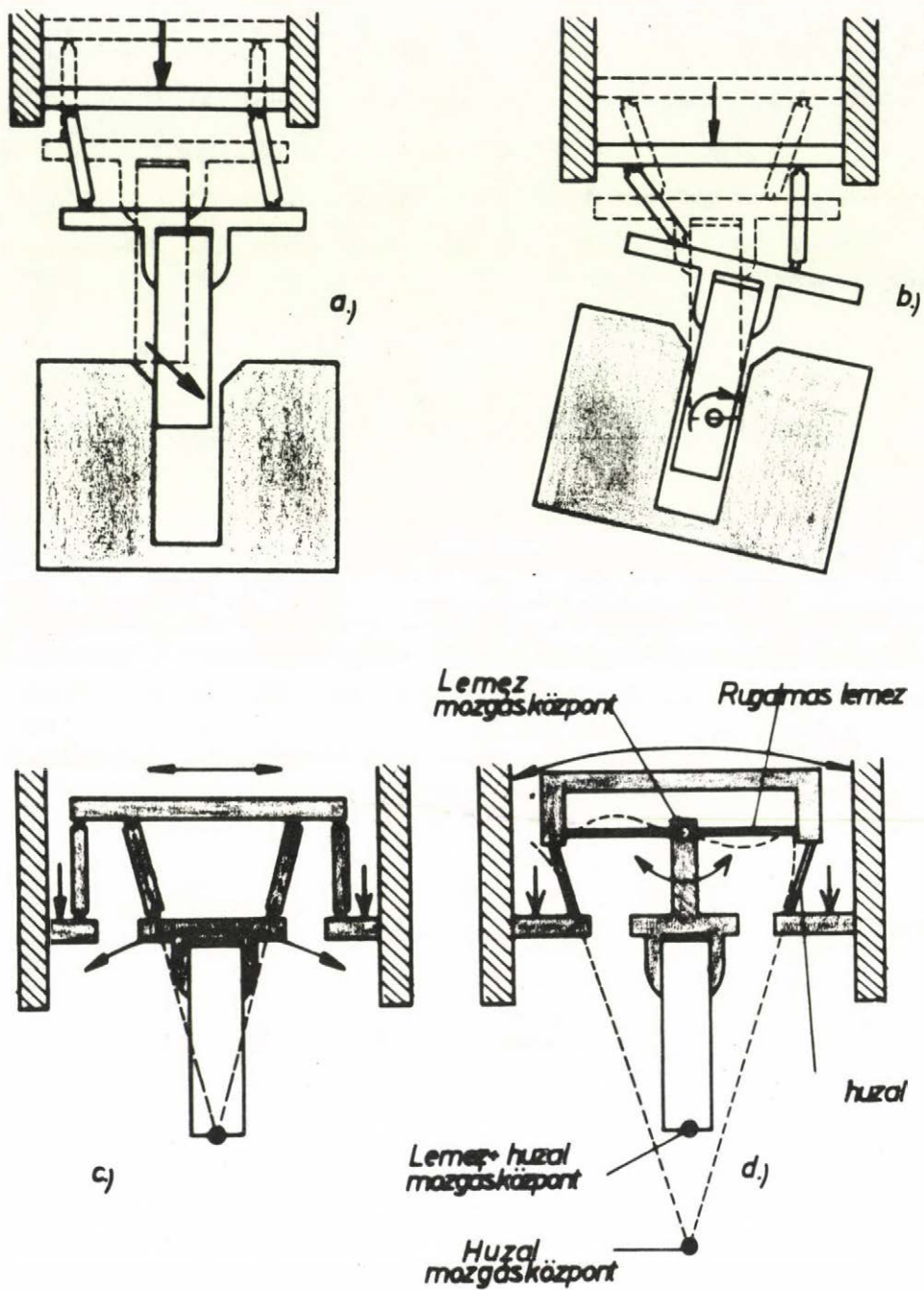
10. MEGFOGÓK ADAPTIVITÁSA A TÁRGY HELYÉRE, HELYZETÉRE

A tárgy helyének, helyzetének szórását, valamint a robot beállási pontatlanságát a helyes megfogás vagy lerakás érdekében korrigálni kell. Különösen fontos ez a korrekció munkadarabok szerelésénél, egymáshoz illesztésénél, tokmányba vagy készülékbe-fogásnál, ill. ezekből kivételnél. Kétféle megoldást különböztetünk meg.

1./ A robot megfogója és/vagy csuklója rugalmas elemeket tartalmaz, melyek nem-szabályozott, kismértékű elmozdulások, elfordulások elvégzésére alkalmasak. Az erőigénybevétel megszűnése után újra alapállapotukat veszik fel az elemek. Korlátozott felbontó képességű robotkinematika esetén tulajdonképpen csak ilyen elemek használhatók, ugyanis a korrekciós mozgások másképpen meg sem oldhatók. Például befogó készülék - tárgy - megfogó kezdeti laza kapcsolatának pontosító rögzítésekor a robotkinematika egyéb részeit /főleg a hajtásokat és a csuklókat/ a káros terheléstől mentesítik.

2./ A robot megfogójába, a csuklóba érzékelőket szerelnek be, melyek jeleit a robotvezérlésben a különböző szabadságfokok irányában kompenzáló mozgásokká alakítják és így pontosítják a befogó - tárgy - megfogó kapcsolatot. Ezek az érzékelők vagy érintkezés mentesek /optikai, fluid, kapacitív, induktív stb./ vagy érintkezést igényelnek és így általában kis mechanikai igénybevételt jelentenek az érzékelőt hordozó elem számára. Ebben a csoportba sorolhatók még a vizuális inputtal dolgozó robotok is, melyek szintén érintkezés mentesen teszik lehetővé a méréseket és a kompenzációt. A kompenzáló mozgások végrehajtására a kinematika felbontó képessége sokkal nagyobb, mint az 1./ típusnál.

A nemszabályozott rugalmas elemekre - melyek tulajdonképpen önbeállóvá teszik a robotot-, az ipari és a szerelő robotok terü-



39. ábra

Rugalmas csuklóképzés [5, 19, 21]

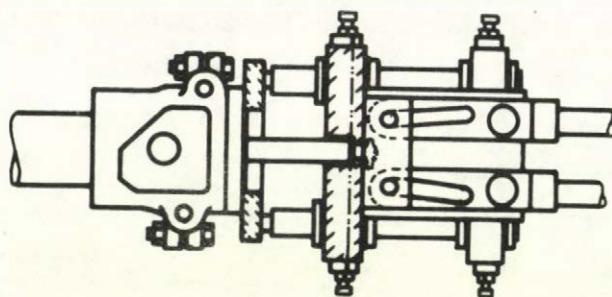
rületéről bemutatunk néhány megoldást. A Charles Stark Drake Laboratórium szerelő robot fejlesztési munkáinál [5, 19, 21] foglalkoztak a 39. ábrán látható csukló kiképzés alkalmazásával. Az a./ megoldás oldalirányu, a b./ részlet elforduló mozgást enged meg - kombinációjuk a c./ és d./ ábrarészleteken látható. Hasonló feladat megoldására fejlesztették ki [14] a 40. ábrán vázolt csuklót, amely két részből áll, pneumatikus "párnázásu". A két, egymáshoz képest elmozduló elem kerületén szegmensek vannak, amelyeknek az éppen érintkező pontjai a csukló állásáról, igénybevételi irányáról adnak tájékoztatást a vezérlő egység részére.

Kovácsológép kiszolgálására használt ipari robothoz fejlesztették ki [1] a 41. ábrán látható megfogót, amely a kovácsolás művelet alatt is tartja a munkadarabot, melynek a megmunkált - és egyuttal felfekvő - részén méretváltozás van minden ütem után.

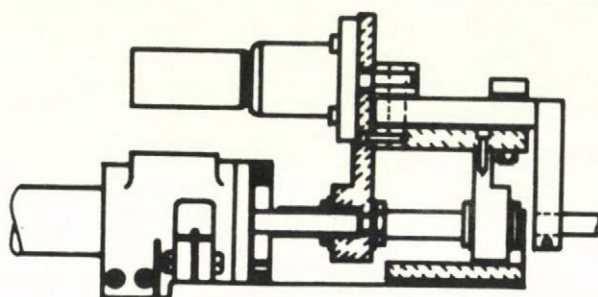
Szerszámgép kiszolgálásánál a megfogó a tárgyat a tokmányba helyezi /általában felütközésig/ - ilyenkor a megfogónak a saját és a gép tengelyének $\Delta\varphi$ szögeltérését kell korrigálnia/42. ábra FANUC kéz/. A tokmány zárásakor a tárgy /ill. megfogó/ és a tokmány tengelye közötti Δx , Δy eltérést hozza helyre a kéz a beépített rugalmas elemekkel. A 42. és 43. ábrán az említett FANUC kéz [16], ill. egy szovjet [38] hidraulikus hajtásu megfogó működési fázisai láthatók. A szerszámgépnél a megmunkálás után nagymértékű méret- és profilváltozás van a munkadarabon, ezért a megfogók széles átmérő tartományhoz alkalmasak. Például a FANUC kéz átfogja a 20-210 mm tartományt.

A beépített érzékelős megfogók közül a HITACHI cég Hi-T-Hand elnevezésű [7] konstrukciója a tárgy megkeresésében és helyrehelyezetre jó megfogásában aktívan részt vesz. A megfogó kétujju, ezek párhuzamosan mozognak; a zárásnyitás 10 mm; dc szervomotoros /2 W-os mikromotor + Potenciométer/. A beépített érzékelők az alábbiak /44.a ábrarészlet/:

a.)

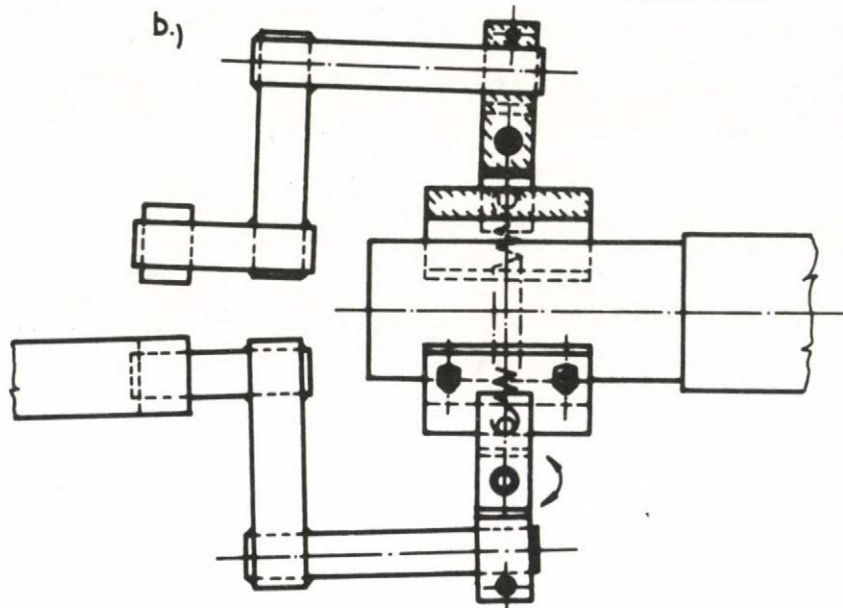


Felülnézet

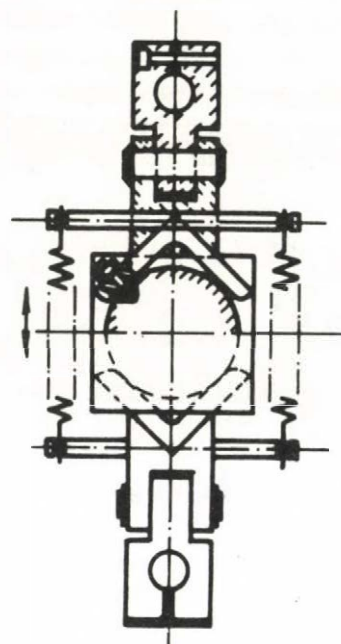


Oldalnézet

b.)



Oldalnézet



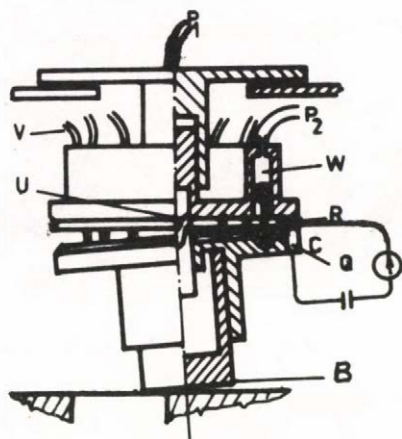
Előnézet

a.) hajtás

b.) ujjak

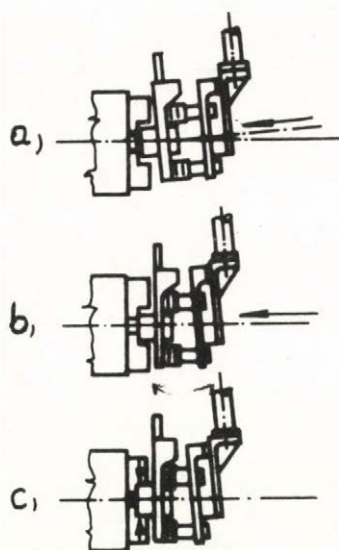
Kovácsológép kiszolgálásnál alkalmazott
megfogó (1)

41. ábra



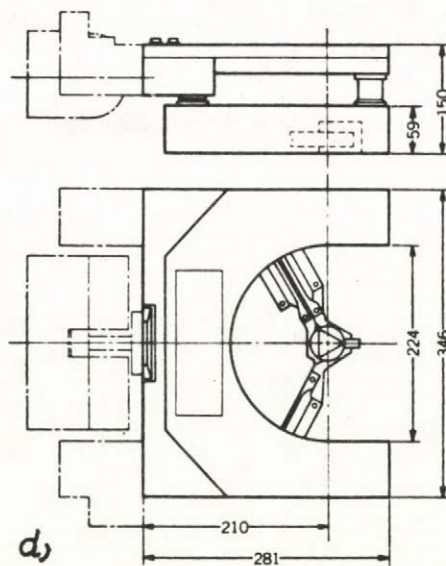
Rugalmas csuklókiképzés (14)

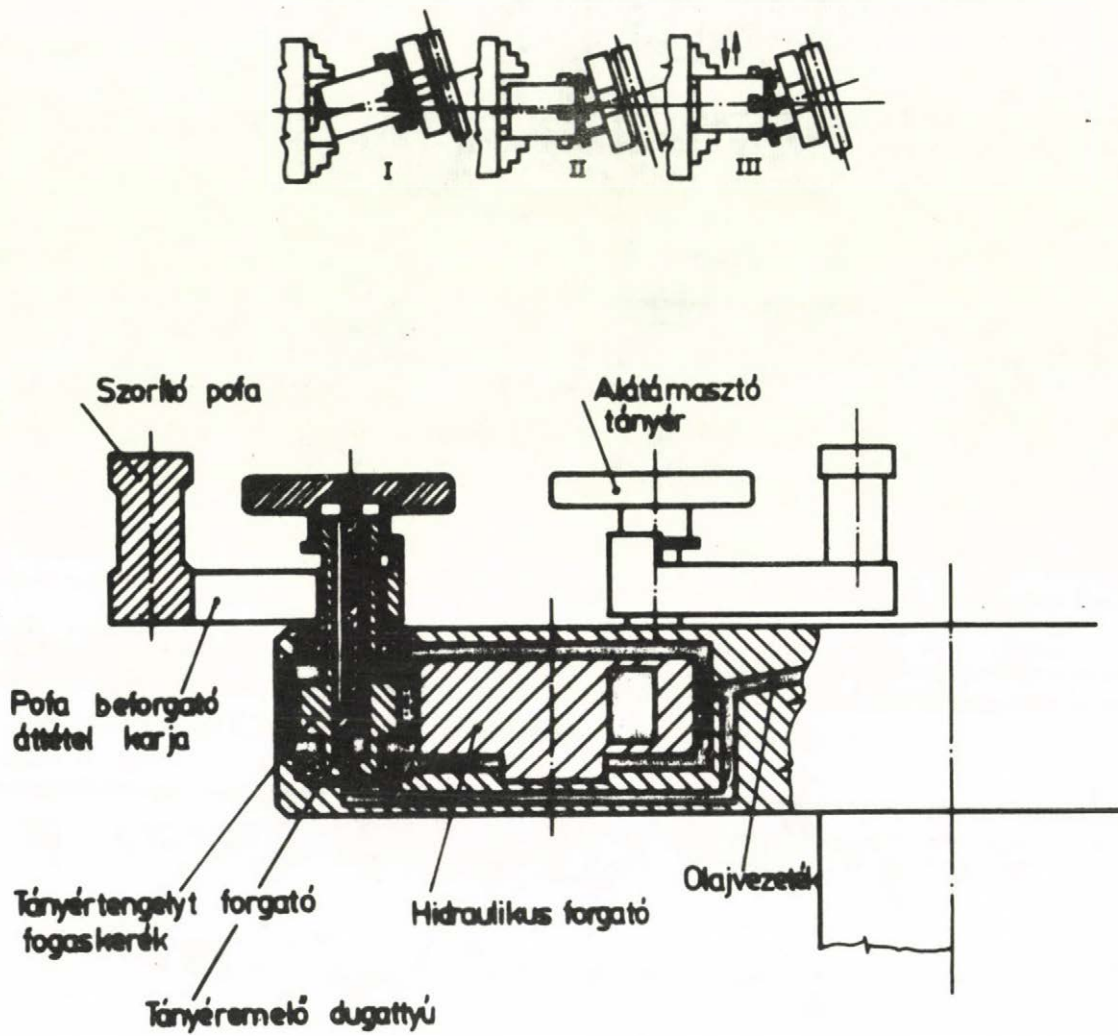
40. ábra



FANUC kéz

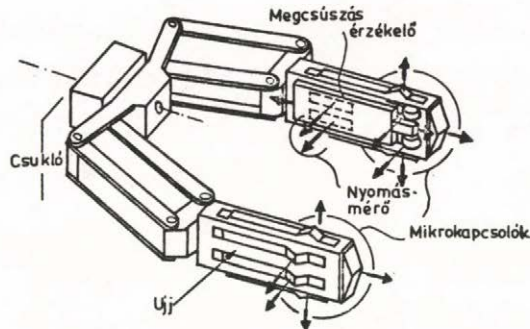
42. ábra



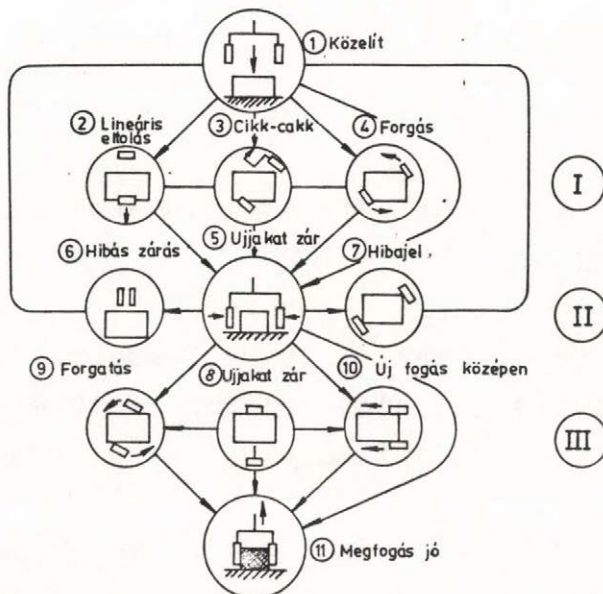


Szerszámgép-kiszolgáló megfogó (38)

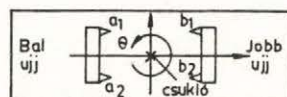
43. ábra



a.)



b.)



c.)

Kapcsolók jelei	Mozgás	
	Ujj	Csukló
$a_1 + a_2 \cdot b_1 + b_2 = 1$	Ujjakat zár	
$(a_1 + a_2) \cdot (b_1 + b_2) = 1$	baloldali Δx	lineáris eltolás Δx
$(a_1 + a_2) \cdot (b_1 + b_2) = 1$	jobboldali $-\Delta x$	$-\Delta x$
$(a_1 \cdot b_1) \cdot (a_2 + b_2) = 1$		lineáris eltolás Δy
$(a_2 \cdot b_2) \cdot (a_1 + b_1) = 1$		$-\Delta y$
$(a_1 \cdot b_2) \cdot (a_2 + b_1) = 1$		forgás $\Delta \theta$
$(a_2 \cdot b_1) \cdot (a_1 + b_2) = 1$		$-\Delta \theta$

44. ábra

Hi - T - Hand

megfogó

a.) beépített érzékelők

b.) tárgy megfogása mozgáskorrekciókkal

c.) jelfeldolgozási algoritmus

mikrokapcsolók - kis erő hatására működnek;
nyomás- és erő kapcsolók - nyomás hatására változó ellen-
állások, elasztikusak a jobb
megfogás érdekében;

A kapcsolók működtetésére nagyobb méretű lemezeket építet-
tek be, továbbá a kapcsolási szint állítható. Az erő mé-
résével a megcsuszást is érzékelik segédparaméterként.

Software oldalon az elemi műveleti programok:

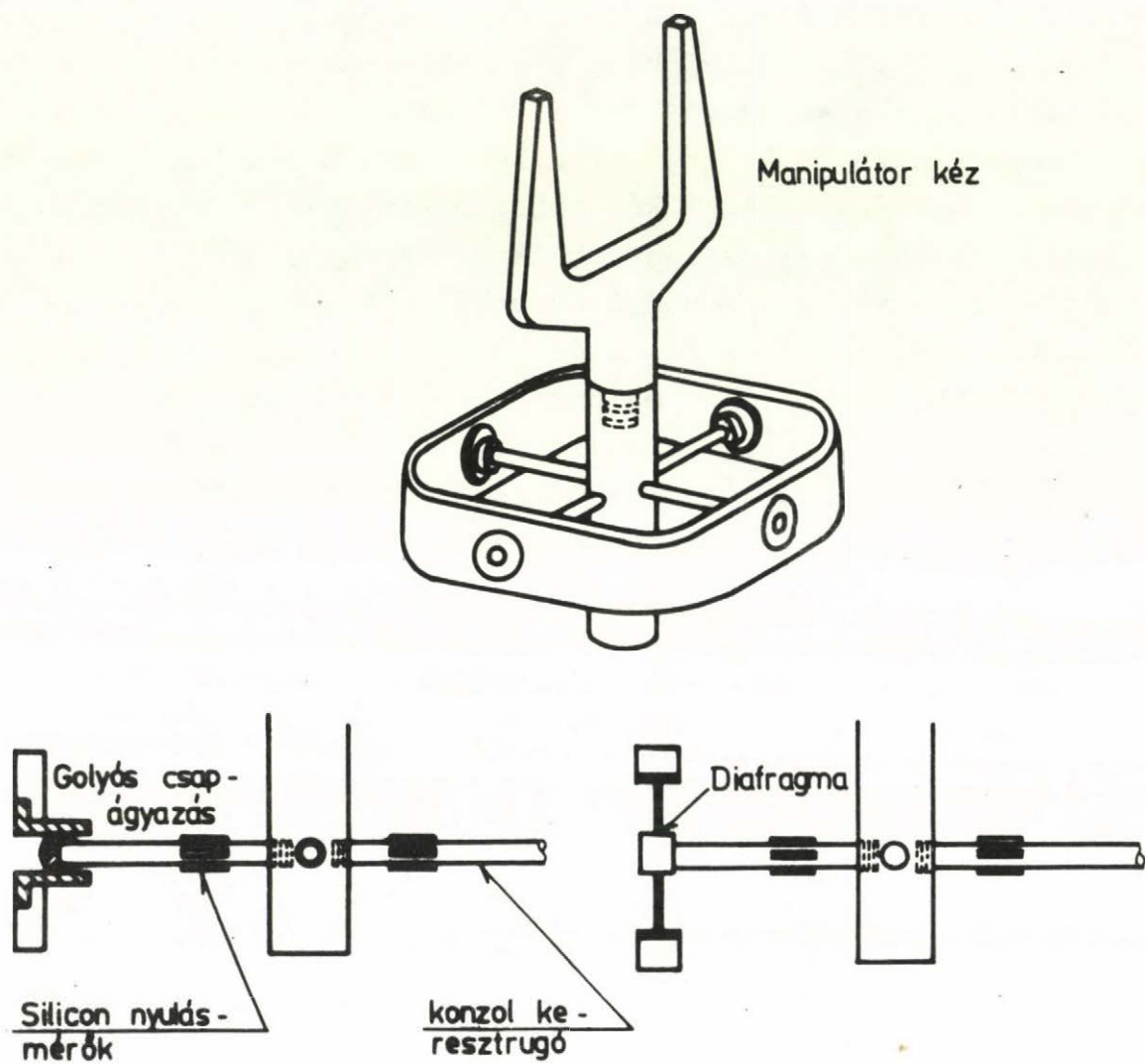
kéz /megfogó/: nyit ill. zár
csukló: forog

Az érzékelőkről vett adatok szerint a vezérlőegység

- meghatározza a tárgy helyét /vizuális inputot nem hasz-
nál fel/;
- a megfogó és a tárgy relativ helyzetét;
- következtet a tárgy formájára /pl. szélességből/;
- a tárgyat adott helyre lerakja korlátozó felületek fi-
gyelembevételével /pl. láda fala vagy sarka esetén "át-
fog"/.

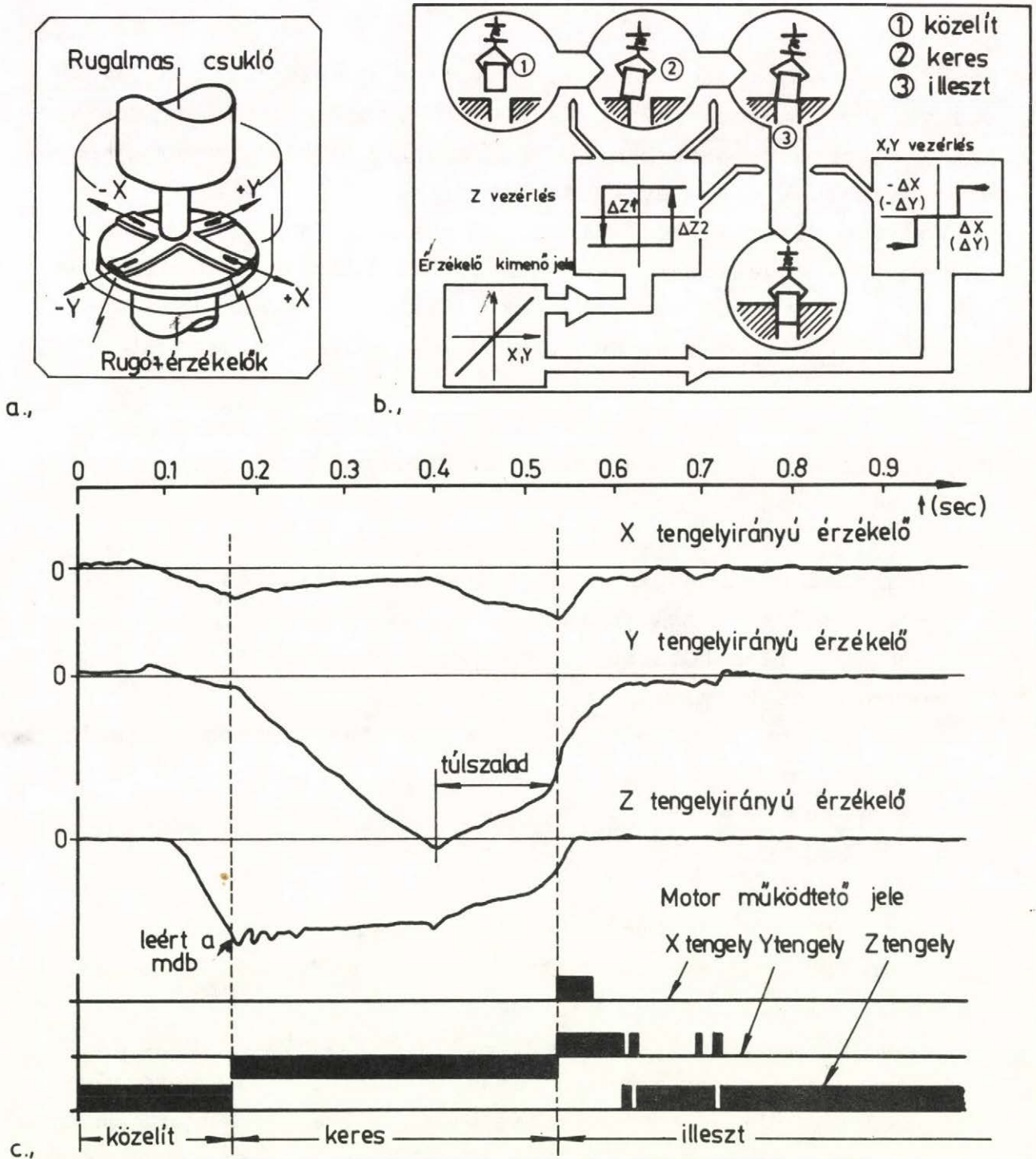
A tárgy és a megfogó relativ helyzetének előírtas beállítása
44.b ábrán látható három fő fázisra bontva. A tárgyhöz közelít
① a megfogó. Az I. fázisban az ujjak végén elhelyezett mikro-
kapcsolók felütközésnél működhetnek a ②, ③ és ④ hibás
pozícióban, és ekkor lineáris vagy forgó mozgásokat, ill. ezek
kombinációját igénylik. A ⑥ esetben az ujjak nem ütköznek fel,
és a tárgyalapig /asztal/ lemennek. A II. fázisban az ujjak zá-
rása következne, ami elvileg megoldható, ha a tárgy mellett van
a megfogó /⑥/, vagy nem oldható meg, mert a megfogó a tárgyat
a ⑦ módon "élére fogta". Hibakompensálás után a III. megfo-
gási fázisban a megfogó és a tárgy között már kis Δx , Δy , $\Delta \theta$
hiba van, amelyek a megszüntetése után a ⑪ megfogás megen-
gedhető. Ennek a III. fázisnak a jelfeldolgozási eljárása a c./
ábrarészleten látható. Itt jegyezzük meg azt, hogy a megfogó

ujjai párhuzamosan mozogva zárnak és a csuklóhoz képest úgy mozognak, hogy a zárás során és után a csukló tengelyvonala az ujjak közötti felező vonallal egybeesik. Csuklóba épített érzékelőt láthatunk a 45. ábrán [20, 22]. Rugalmas csuklóelemre építettek érzékelőt a HI-T-Hand Expert-1 változatánál [6] a szerelésnél gyakran szükséges csap-lyuk illesztéshez /a függőleges /z/ tengely irányából/. Ezt az elrendezést a 46. ábrán mutatjuk be. Az illesztési feladat két robot összehangolt szerelési tevékenysége során merül fel: az egyik robot /kisegítő/ tartja a furatos alkatrészt, a főrobot a csapot, és ez utóbbi a csuklójába épített érzékelőkkel /lásd 46. ábra/, valamint az x, y, z szabadságfokok szerint léptető motoros hajtásával a *közelítés*, a *keresés* és az *illesztés* fázisait megvalósítja. Először a csap felütközik a furatos elem felső sík felületén /"z" irányú erőváltozás/: ekkor a "z" irányú mozgás leáll. A csap a furathoz képest excentrikusan érkezve kissé ferdén áll a függőleges tengelyhez viszonyítva, ezért x, y irányú csukóerők ébrednek. Az erő-vektorból következtetni lehet a helyes elmozdulási irányra. Először az y , majd az x tengely irányába lépteti a megfogót a hajtó motor. $20\ \mu\text{m}$ játéku csap-lyuk kombinációkra és $\pm 3\ \text{mm}$ kezdeti excentricitásra átlagosan 1 s alatt végzi el a robot az illesztési feladatot.



Manipulátorkéz érzékelőkkel [20]

45. ábra



46. ábra

Csap - lyuk illesztés (csuklóba épített
érzékelők felhasználása)

11. MEGFOGÓ ADAPTIVITÁSA MŰVELETHEZ.

SZERELŐ ROBOTOK

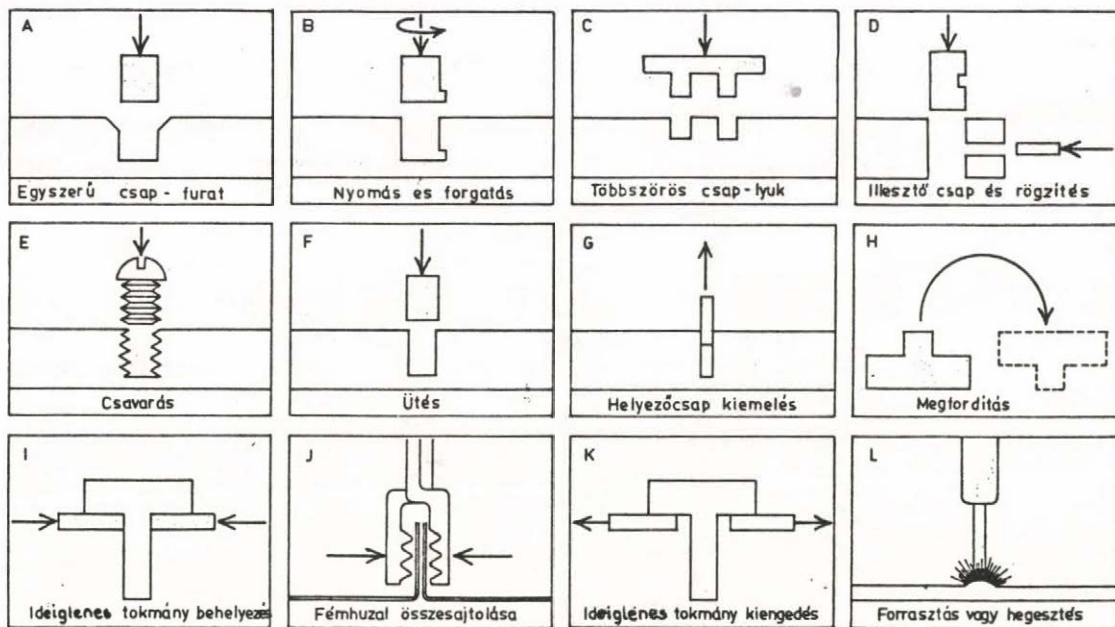
Az eddigiekben a megfogó adaptív volt a munkadarabokhoz azok valamely paramétere /méret, súly stb./ szerint. Ezt a problémát korlátozott mértékben, de egy-egy megfogóval, vagy a megfogó elemeinek cseréjével meg lehet oldani. A munkadarabokkal végzett különböző típusú műveletek azonban a megfogó jellegének megváltozását is igénylik. A mozgások, az erőhatások és az esetleges segédanyagok átvitele, tartása /pl. hegesztésnél/ csak más és más típusú megfogóval valósíthatók meg.

A fenti változatosság egyetlen robot programján belül elsősorban a szereplő robotokra jellemző, amelyek munkájában előfordulhat:

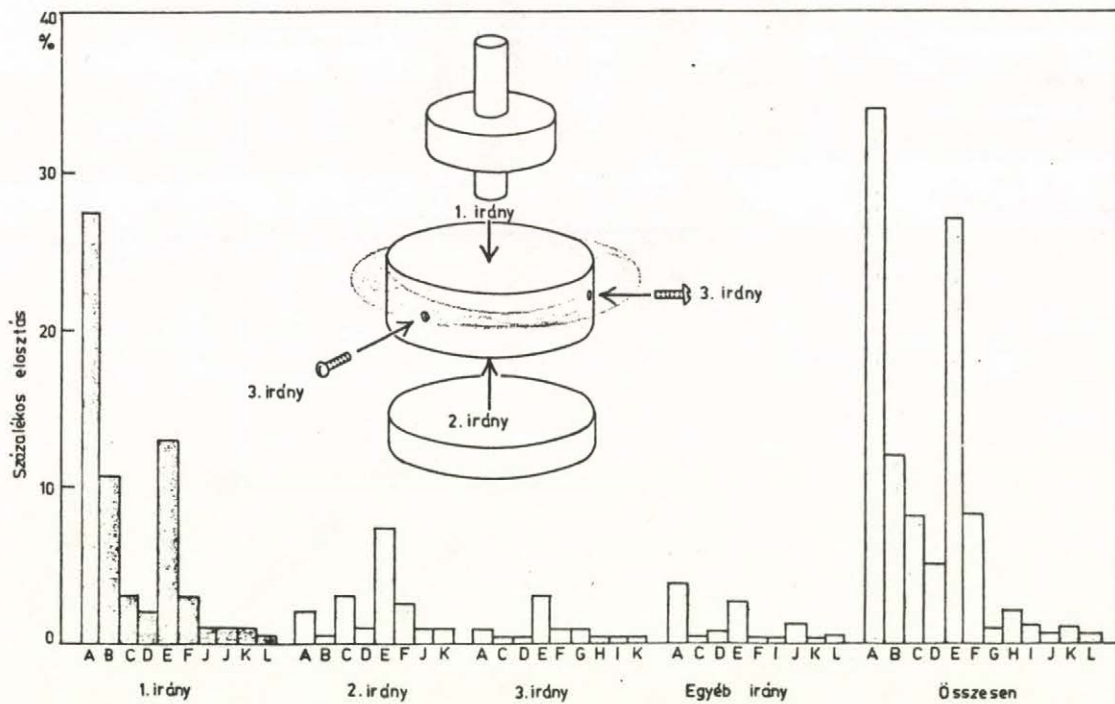
- munkadarabok egymásra és egymáshoz illesztése, helyezése;
- oldható kötéssel rögzítés;
- oldhatatlan kötéssel rögzítés;
- felületi kezelés;
- részleges vagy teljes alakváltoztatás /darabolás, sajtolás stb./.

A munkák szervezése két úton lehetséges:

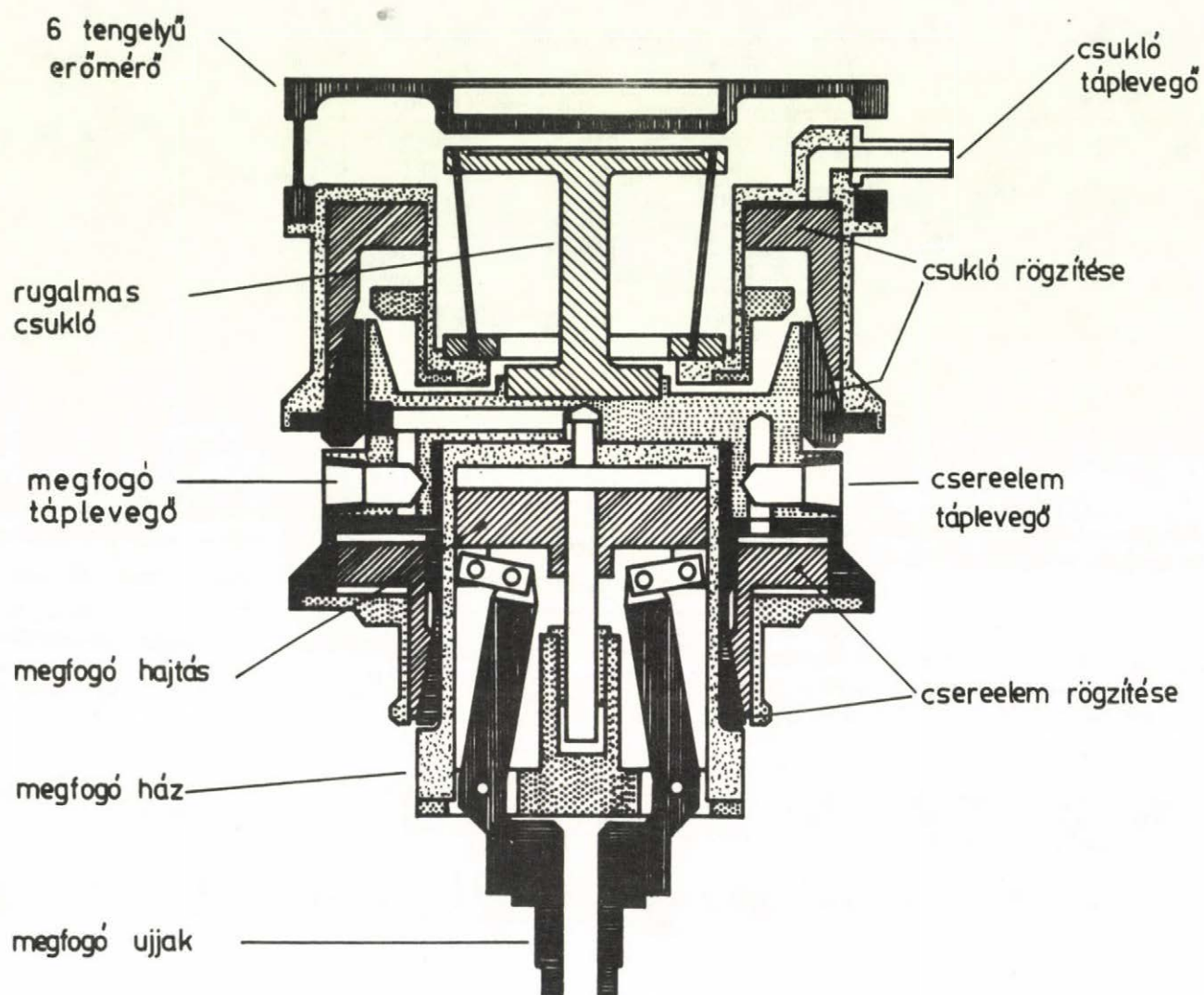
- 1./ Az egyes műveleteket különálló, egyszerű robotok végzik /robotok sora/;
- 2./ Több műveletet egyetlen, bonyolultabb mozgásokra képes robot /esetleg két, szinkronizáltan együttműködő robot/ hajt végre. A program végrehajtása során a robot szerkezetileg "módosul": megfogóit cserével illeszti a mindenkorinak megfelelően a feladathoz. Ekkor a robot és megfogókészlete mintegy szerszámrendszerként vesz részt a szerelési munkában.



Tipikus szerelési műveleti elemek
47. ábra



A tipikus szerelési műveletelemek gyakorisága
48. ábra



Szerelőrobot csuklója és cserélhető megfogója (50)

49. ábra

A Charles Stark Draper Laboratórium munkaközössége elemezte [19] a szerelésnél előforduló műveleteket és azokat tipizálta /47. ábra/. Természetesen az elemzés korántsem teljes, de lényeges, alapvető elemeket tartalmaz. A helyezések, a kötött irányok, helyzetek száma, a forgások és erőigények változatát mutatják be az ábrán. Az egyes műveletek gyakoriságát a vizsgált villamosgépipari szerelésnél felmérték koordináta irányok szerint is /48. ábra/. Elsősorban a függőleges tengelyirányu szerelési elemek száma nagy és azok közül is a furat-csap illesztést, a csavarást és harmadikként a furat-csap illesztés + elfordítással rögzítést kell a leggyakrabban végezni.

A 49. ábrán az előző fejezetben már említett rugalmas csukló látható, a szerelés közben cserélhető megfogói egyikével. A megfogók - szerszámként - tárban helyezkednek el és a robotvezérlés a műveleti algoritmusnak megfelelő időben és sorrendben cseréli őket.

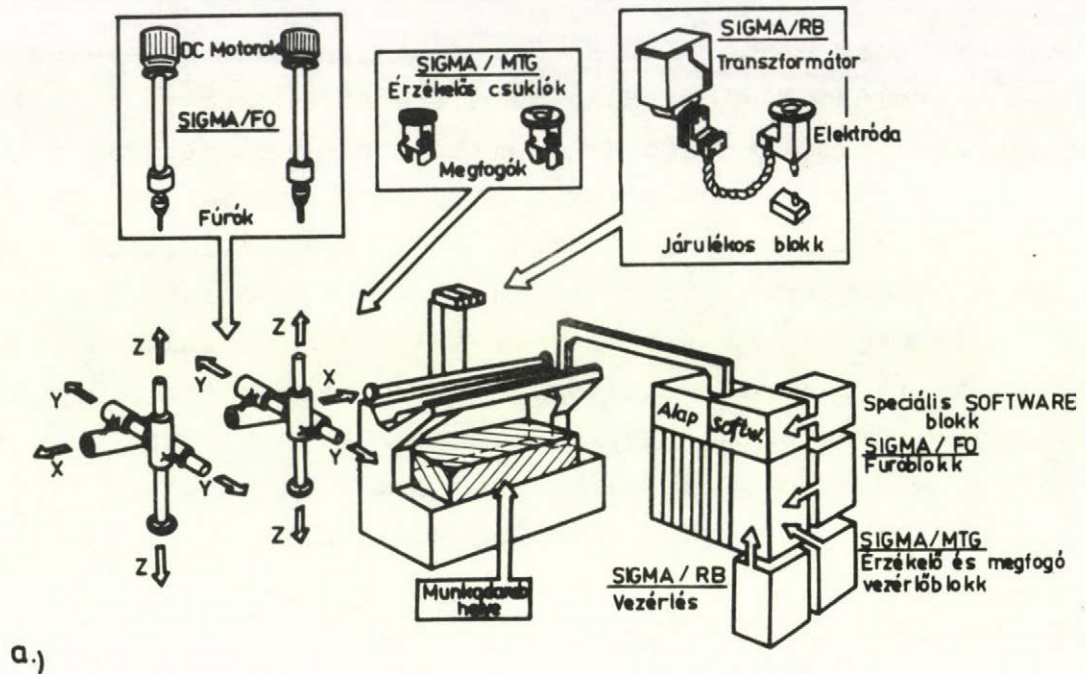
A szerszám felvétele megoldható általában

- mechanikus tájolással és reteszeléssel;
- mechanikus tájolással és elektromos rögzítéssel /motorral vagy elektromágnessel/.

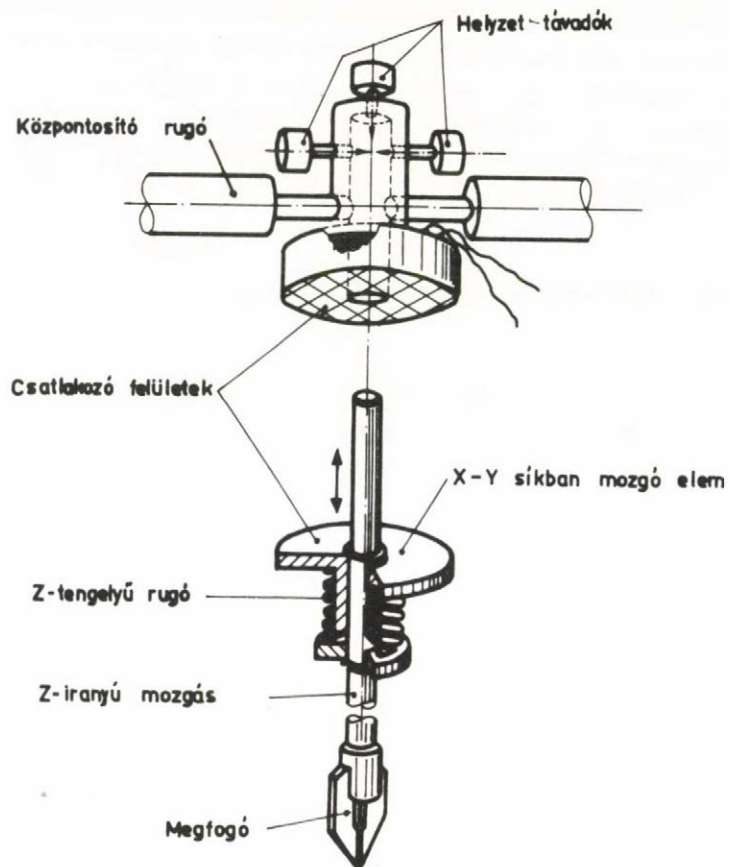
A szerszám lehet: 1./ komplett berendezés /pl. csavarbehajtó nyomaték határolóval, menetvágó M4 méretig, peremező, támolygó szegecselő/;

2./ egycélú mechanizmus /csavarhuzó, ujjas megfogóváltozatok, olló, páka, szike, karctü stb./.

AZ OLIVETTI cég szerelő robotjánál [5] alkalmazott cserélhető megfogó és szerszám-egység típusok az 50.a ábrán láthatók, a megfogó elektromágneses rögzítése pedig a b./ ábrarészleten.

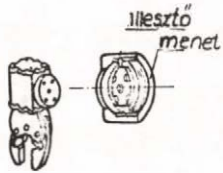


a.)

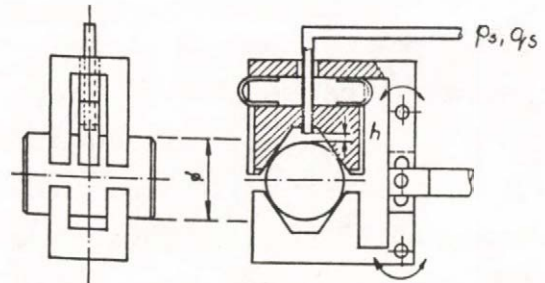


b.)

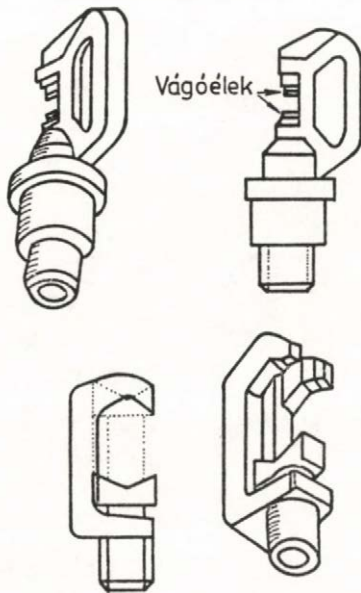
OLIVETTI szerelőrobot (27)
50. ábra



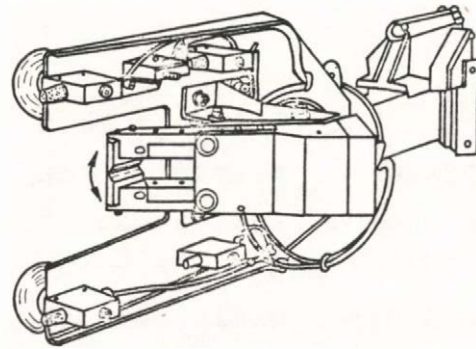
Cserélhető megfogó mechanikus rögzítéssel (13)



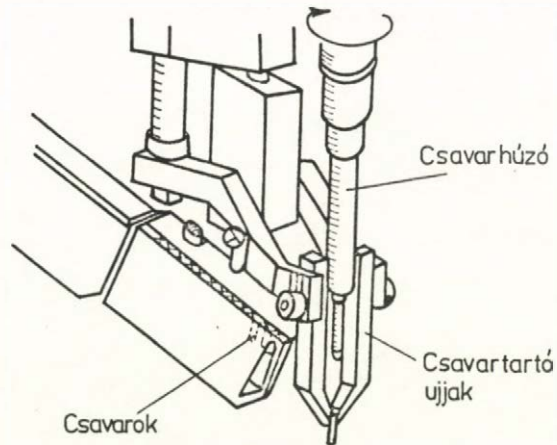
Mérő - megfogó
51. ábra



Szerszám - megfogó
52. ábra



Kaufeldt, Svédország
53. ábra



Csavarhúzó
54. ábra

Egyszerű mechanikus csatlakoztatásu a Selarm /Japán/ csuklóegység [13], az 51. ábrán látható.

Szerszámmegfogókat ábrázolnak az 51-54. ábrák [13]. Az 51. ábra megfogójába beépítettek egy pneumatikus méretellenőrző egységet, amely 1 µm pontossággal mér, kimenő nyomása analóg jel és arányos a munkadarab méreteltéréseivel. Az 52. ábrán huzalvágó és bandácsoló megfogók vannak. Az 53. ábrán kombinált megfogót láthatunk: vákuumos tappancsokkal tartja a két műanyag alkatrészt a megfogó és ezeket a nyíllal jelölt ujjak ill. pofák sorjazzák. Csavarhuzó-csavartartó egységet az 54. ábra mutat be a dagolóval együtt.

- . - . -

Szerelő robot témában a megfogók és szerszámok kialakítása, készletezése, valamint a beépíthető külső és belső információt adó érzékelők fejlesztése és felhasználása területén jelenleg is széles körben folynak kutatások. Az utóbbi években megszapordott szakirodalmi közlemények és könyvek a téma érdekességét és fejlődőképességét tükrözik.

Az érzékelőkről és az MTA-SzTAKI-ban folyó szerelő robotkutatásokról egy további tanulmányban számolunk be.

I R O D A L O M

- [1] Appleton, E., Heginbotham, W.B., Kohno, M.:
Design Study and Feasibility Trial for a Robot Black
smith
IPA 1978. Stuttgart

- [2] Crossley, E., Umholtz, F.G. /Massachusetts Univ/:
Design for a Three Fingered Hand
Mechanism and Mashine Theory 1977. Vol. 12.

- [3] Dietrich, M.:
Préhension et présentation des pièces par les
manipulateurs
Mécanique N°311-312 Nov-Déc 1975.

- [4] Dietrich, B.:
Préhension et présentation des pièces par les
manipulateurs Application de petits et moyens
manipulateurs.
Machine-Outil N°336 Décembre 1976.

- [5] Drake, S.H.:
Using Compliance in Lieu of Sensory Feedback for
Automatic Assembly
T-657 1977. szept.
The Charles Stark Draper Lab. Inc.

- [6] Goto, T., Inoyama, T., Takeyasu, H.:
Precise Research Laboratoy of Hitachi Ltd. Japan
2nd Conference on Industrial Robot Technology 1974.
Birmingham

- [7] Goto,T., Takeyasu,K., Inoyama,T., Shimomura,R.:
Control Algorithm for Tactile Controlled Hand
AEU N^o4, 1973.

- [8] Hanafusa,H., Asada,H., /Aut.Research Lab./:
Stable Prehension by a Robot Hand with Elastic
Fingers
7th International Symposium on Industrial Robots
1978. Stuttgart pp. 316-368

- [9] Hirt,D., Isenberg,G., Krovinovic,Z.:
Entwicklung eines adaptiven Greifsystems
Fördern und heben 26/1976/ N^o13

- [10] Hirose,S., Umetani,Y.:
The Development of Soft Gripper for the Versatile
Robot Hand
7th International Symposium on Industrial Robots
1977. Stuttgart.

- [11] Industrial Robots - GRIPPER REVIEW
Published by: International Fluidics Services Ltd.
IFS LTD 1977

- [12] Kersten, L.:
The Lemma Concept: A New Manipulator
Mechanism and Mashine Theory 1977. Vol.12.

- [13] Lundström,G.:
Industrial Robot Grippers
The Industrial Robot 1973. Dec.

- [14] McCallion, H.Wong,P.C.:
Some Thoughts on the Automatic Assembly of a Peg
and a Hole
The Industrial Robot, December 1975.

- [15] McDonald, J.D. /Cleveland, Ohio/:
Human Factors - The Forgotten Element in Design
Machine Design 1976. Sept. 9.

- [16] Marton, Zs.:
Ipari robotok pneumatikus működtetésű fogókészülékei
Mérés és Automatika XXIV. 1976/5.

- [17] Mechanical hand with three fingers grasps heavy and
fragile objects
Product Engineering, February 1975.

- [18] Miles, K.E.:
Factors Affecting the Manipulation of Pieceparts
for Automated Assembly
The Industrial Robot March 1976.

- [19] Nevins, J.L., Whitney, D.E.:
Computer - Controlled Assembly
Scientific American Vol. 238/1978/Nº 2 Febr.

- [20] Nevins, J.L., Whitney, D.E.:
Exploratory Research in Industrial Modular Assembly
A status report P-101 1974. The Charles Stark Draper
Lab. Inc.; 4th International Symp. on IR, 1974. Tokyo

- [21] Nevins, J., Whitney, D. és szerzőtársak:
Exploratory Research in Industrial Modular Assembly
R-1111 1977.
The Charles Stark Drake Lab. Inc.

- [22] Nevins, J.L., Whitney, D.E.:
Information and Control Issues of Adaptable,
Programmable Assembly Systems for Manufacturing and
Teleoperator Application
P-163 1975. The Charles Stark Draper Lab. Inc.

- [23] Okada, T., and Tsuchiya S.:
On a Versatile Finger Systems
7th International Symposium on Industrial Robots
1978. Stuttgart

- [24] Olszewski, M, Ziembicki, M.:
Ein Beitrag zur Klärung des dynamischen Verhaltens
von Greigern
IPA 1978. Stuttgart

- [25] Rovetta, A., Casarico, G.:
On the Prehension of a Robot Mechanical Hand:
Theoretical Analysis and Experimental Tests
IPA, 1978. Stuttgart

- [26] Sakai, Kumazawa, Ueda /Nagoya University/;
Shingu /Aichi Institute of Technology/;
Approach and Plan: Most Suitable Control of Grasping
in Industrial Robot

- [27] Salmon, M.:
Robot Technology at Olivetti. The SIGMA System ime
35 September 1976.

- [28] SIMRIT prospektus, Weinheim

- [29] Skinner, F.:
Designing a Multiple Prehension Manipulator
Mechanical Engineering 1975/September

- [30] Tomovic, R., Stojiljkovic, Z.:
Multifunktional Terminal Device with Adaptive
Grasping Force Automatica, Vol.11. Pergamon Press
1975.

- [31] Ueda, Iwata /Nagoya Univ/:
Adaptiv Grasping Operation of an Industrial Robot

- [32] Wauer, G.:
Formschlüssiges Greifen durch Industrierobotergriffe
mit einstellbarer Backengeometrie
IPA 1978. Stuttgart
- [33] Wauer, G., Greller, P.:
Schnelles Ampassen von Greifern an unregelmässige
werkstücke mit Abformbacken
Fördern und heben 26/1976/ N^o13
- [34] Будников, Ю.М., Герасимов, А.Г.: Пневматические захваты
с эластичной оболочкой. Вестник машиностроения № 2, 1976.
- [35] Герасимов, А.Г., Ананьева, В.Н.: Технологический комплекс
с использованием промышленного робота. Вестник машино-
строения № 5, 1976.
- [36] Кобринский, Корендясев, Саламандра, Тьевес: Автоматичес-
кие манипуляторы с программным управлением /промышленные
роботы/. Состояние, перспективы, проблемы. Станки и
инструменты № 11, 1974.
- [37] Лурье, Г.Б., Кузнецов, Ю.И.: Захватные устройства манипу-
ляторов. Механизация и автоматизация производств № 9, 1976.
- [38] Моханов, Г.А., Мелетьев, Г.А.: Захватывающие устройства
промышленных роботов. Вестник машиностроения № 9, 1976.

II. ROBOT MEGFOGÓ SZERKEZETEK SZINKRONIZÁLÁSA MOZGÓ MUNKADARABOKKAL

témakörben végzett vizsgálatok néhány részletéről

dr. SZÉP ENDRE

a munkában részt vett: *Mohácsi János* technikus

Az Automatizált Mérés, Anyagmozgatás és Szerelés Osztályon /AMASZO/ 1975. végén került szóba a címben idézett témakör. Abban az időben az osztály tudományos kollektívája két alkalommal is megvitatta a témát. Az első vita tapasztalatait összefoglaló emlékeztető röviden rámutatott néhány ellentmondásra. Érdeemes lehet néhányat idézni.

Íme az egyik:

"A feladat aktualitásának alátámasztására indokul - az elhangzott véleményeket és ellenvéleményeket összegezve - elsősorban az emlíhető, hogy perspektivikus, nagy kutatási téma részét képezi és a tudományos előrelátás alapján várható, hogy a robot téma kibontakozása, fejlődése elvezet a címben megjelölt feladat megoldásának igényéig."

A másik:

"A konkrét kutatási irány kijelölése az alkalmazás oldalról jelentkező igény hiányában a szubjektivitásoktól nem mentes."

Az említettek tudatában született a döntés, miszerint kívánatos minőségi vizsgálatokat végezni arra vonatkozóan, hogy bár speciális és egyszerű, de üzemi körülmények között mégis elképzelhető esetekben, egyszerű /az osztály multját szem előtt tartva pneumatikus/ irányítástechnikai eszközökkel lehet-e célt érni.

Első lépésként azt igyekeztünk tisztázni, hogy a feladatot általánosan milyen aspektusokból lehet vizsgálni. A szempontok rövid összefoglalását adja a következő felsorolás.

I. A MUNKADARABOK SZEMPONTJÁBÓL

1./ *A munkadarabok pályája*

a. Térbeli

b. Síkbeli

α. Görbevonalu

β. Egyenesvonalu

- 2./ *A munkadarabok sebességviszonyai*
 - a. Változó mozgás
 - b. Egyenletes mozgás
- 3./ *A munkadarab milyensége /alak/*
 - a. változó
 - b. változatlan
- 4./ *A munkadarabok elhelyezkedése a szállító berendezésen*
 - a. Rendezettség tekintetében
 - α . Rendezetlenül
 - β . Rendezetten
 - b. A szállítóberendezés bázisvonalához viszonyítva
 - α . Változó helyzetben
 - β . Változatlan helyzetben
 - c. Osztás /követési távolság/
 - α . Változó
 - β . Állandó

II. A MUNKADARABOK MEGFOGÁS PILLANATÁBAN VALÓ MOZGÁSA SZEMPONTJÁBÓL

- 1./ *A munkadarab a szállító berendezésen helyezkedik el*
 - a. A munkadarab a szállítóberendezéssel együtt mozog
 - b. A munkadarab áll /földi megfigyelőhöz képest/
 - α . A szállítóberendezés áll
 - β . A szállítóberendezés mozog /munkadarab a szállítóberendezésen megcsuszlik/
- 2./ *A munkadarab a szállítóberendezésről eltávolítva*

III. A MUNKADARABNAK A MEGFOGÓVAL VALÓ KÖZELÍTÉSE SZEMPONTJÁBÓL

- 1./ A megfogó sebesség vektorának van a munkadarab mozgásirányával megegyező irányú összetevője
- 2./ Nincs ilyen összetevő

IV. AZ IRÁNYÍTÁS SZEMPONTJÁBÓL

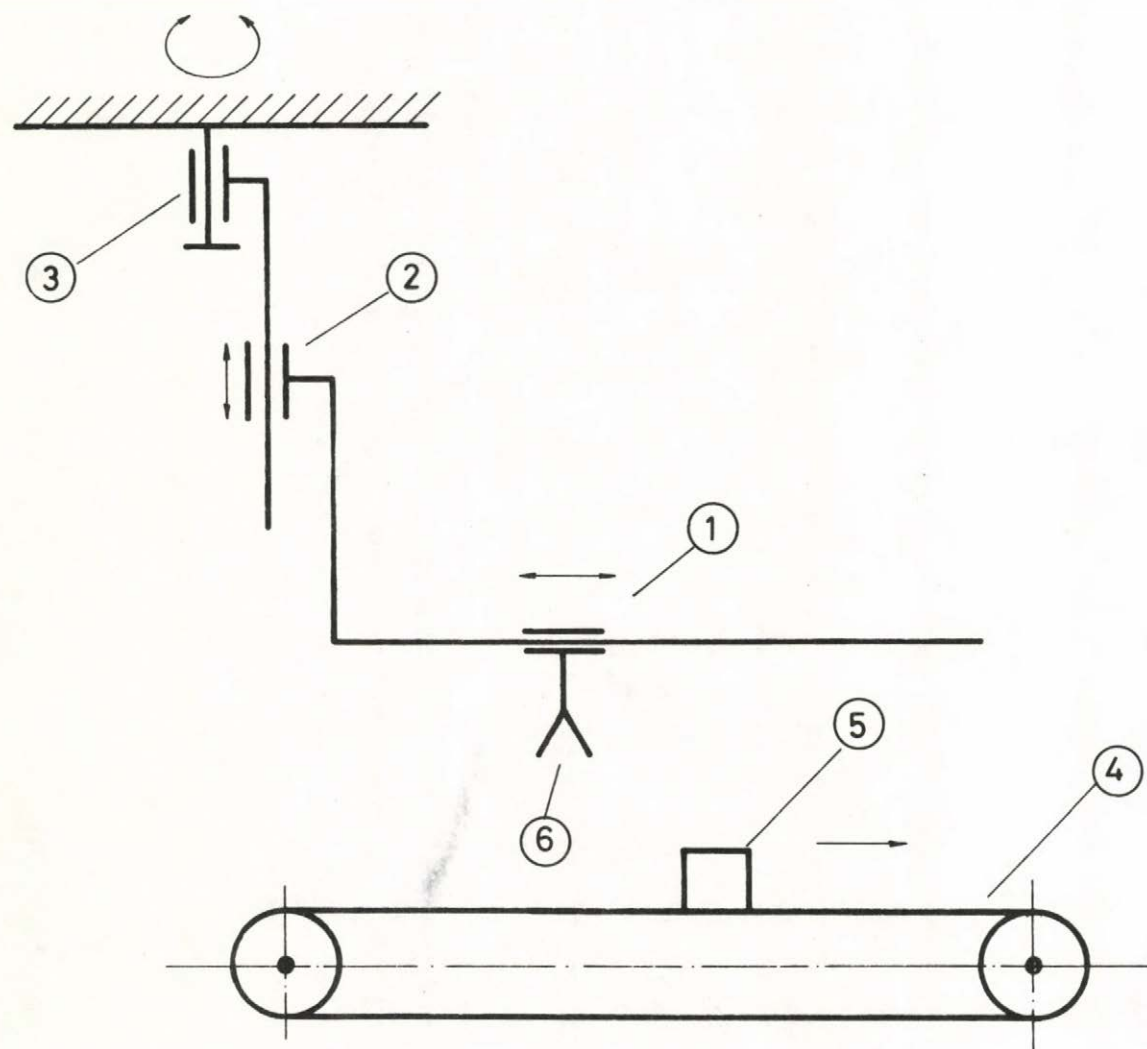
- 1./ Vezérlés
- 2./ Szabályozás
- 3./ Vezérlés + szabályozás

V. A TALÁLAT ÉS SZINKRON PONTOSSÁGI KÖVETELMÉNYEIT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK SZEMPONTJÁBÓL

- 1./ A munkadarab milyensége /alak, súly, anyag, tömegeloszlás, surlódási viszonyok stb./
- 2./ A szállító berendezés milyensége
- 3./ A megfogó milyensége stb.

A téma tanulmányozására az 1. ábrán bemutatott kinematikai modellt építettük meg.

Eszerint az 1 haladó kinematikai páron lévő 6 megfogó a 4 szalag által szállított kockaalaku 5 munkadarab mozgásával azonos irányú mozgásra képes úgy, hogy a megfogó szimmetria tengelye és a munkadarab középpontjának mozgáspályája függőleges sikot határoznak meg. A 2 haladó kinematikai pár a megfogó süllyesztését /munkadarab elfogásához/ ill. emelését /munkadarab megfogása utáni emeléshez/ végzi. A 3 forgó kinematikai pár lehetőséget nyújtott az egész szerkezet 90° -os elfordításához /ezt azonban az itt ismertetett vizsgálatoknál végig rögzített helyzetben tartottuk/.



1. ábra.

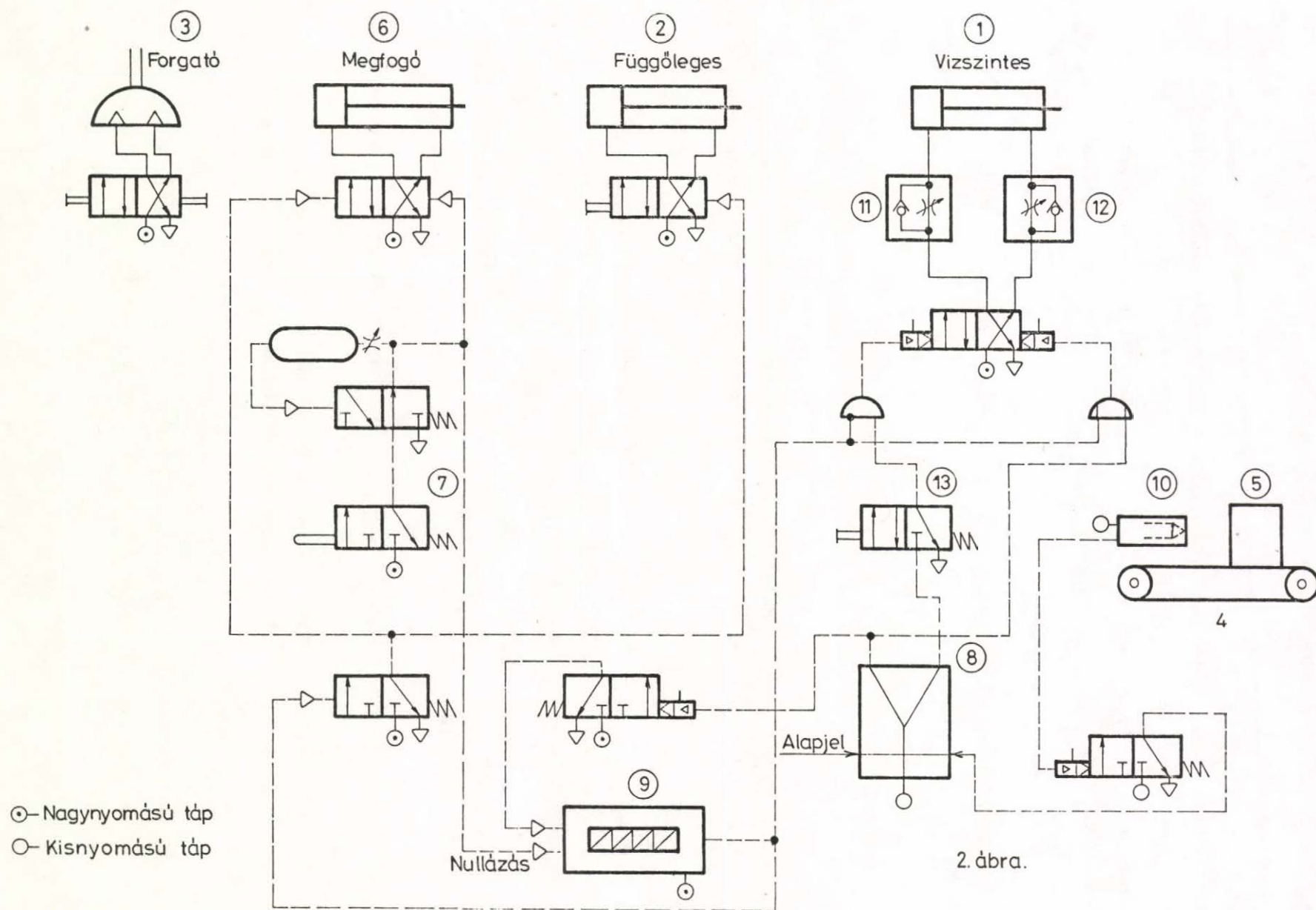
Az itt leírt kinematikai lánc /elrendezés/ a korábban ismertett vizsgálati szempontok I-IV pontjai közül /figyelembe véve a vezérlés alkalmazását/ lényegében az alábbiak tanulmányozására volt alkalmas:

I/1/b/ β	II/1/a	III/1	IV/1
I/2/a,b	II/1/b/ α, β		
I/3/a,b			
I/4/a/ α			
/4/b/ α, β			
/c/ α, β			

A kísérleti berendezés vezérlésének elve a következő /2. ábra/.

Kiindulás alaphelyzetben az 1, 2, 6 munkahengerek behuzott helyzetben vannak, vagyis a vízszintes egység hátrahuzott helyzetben, a függőleges egység felhuzott helyzetben van és a megfogó az 5 munkadarabot tartja. Ha a 2 függőleges egység /egyik irányban kézi működtetésű/ főszelepével kézi működtetés útján a függőleges egységet leeresztjük, akkor az alsó állásban a 7 végálláskapcsoló bekapcsol és a kimenő jelét meghatározott időtartamu impulzussá formáló egység a 6 megfogó munkahengert vezérlő főszelepének vezérlő impulzust ad /közben a 9 számlálót nullázza/, mire a megfogó az 5 munkadarabot a 4 működő szállítószalagra ejti. A 13 kézikapcsoló segítségével - mely bemenő jelét a megfelelő szintű alapjellel előfeszített 8 fluid bistabil elemtől kapja - a megfogót tartó 1 vízszintes egység a már távolodó munkadarab után indítható.

Amikor a megfogóba erősített 10 reflexiós érzékelő a munkadarabot annyira megközelíti, hogy kimenő jele a 8 bistabil elemet a beállított alapjel ellenében átbillenti, a bistabil elem egyrészt az 1 vízszintes munkahengert hátra vezérli, másrészt a 9 impulzus számlálónak egy léptető impulzust ad. A 10 reflexiós érzékelő így a munkadarabtól távolodik, amíg a 8 bistabil elem az 1 vízszintes egységet újból előre vezérli, vagyis a



2. ábra.

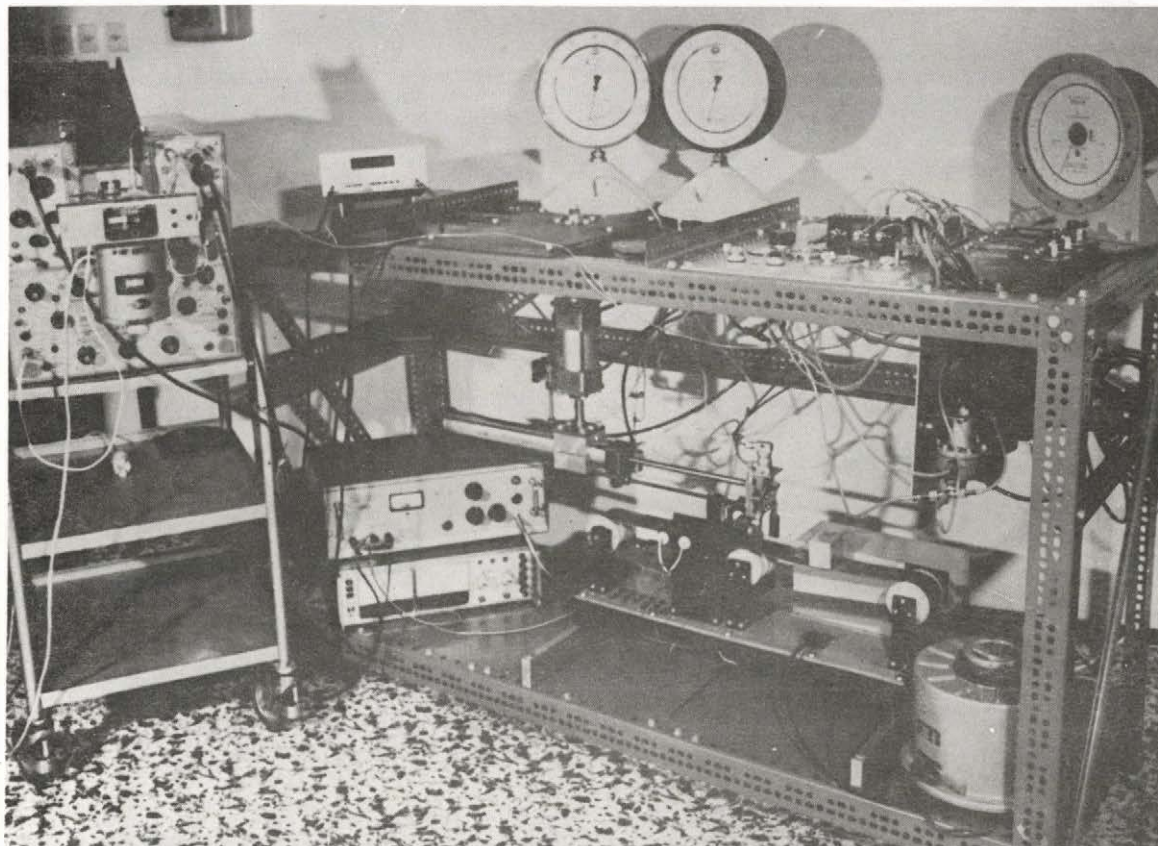
megközelítés ismétlődik. A megközelítési ciklus ismétlődését a 9 számlálónelőre beállított impulzusszám határozza meg. Ha a ciklus ezen számmal megegyező alkalommal lejátszódott, az impulzus számláló kimenő jele az 1 vízszintes egységet hátra vezérli, miközben az előre vezérlést tiltja, továbbá kiváltja a munkadarab megfogását, a kinematikai lánc, vagyis a munkadarab felemelését és a vízszintes egység behuzódik. Ezzel egy mérési ciklusnak vége.

A vizsgálat során a következő paraméterek változtatására ill. mérésére volt lehetőség:

- 1./ A munkadarabot szállító szalag sebességének változtatására a villamos hajtás fordulatszám változtatása útján.
- 2./ Az 1 vízszintes munkahenger sebességének változtatására a 11 és 12 sebesség szabályozó szelepek állítása segítségével.
- 3./ A szállítószalag és az 1 munkahenger sebességének mérésére a meghatározott bázistávolságra elhelyezett fotocellák közötti ut megtételéhez szükséges időnek impulzuszámlálós módszerrel való mérése útján.
- 4./ A megközelítési ciklusszám állítására a 9 impulzuszámláló beállításával.
- 5./ Két pneumatikus nyomásjel /esetünkben célszerűen az 1 vízszintes egység hátramozgását kiváltó munkahengertér nyomása és a 10 reflexiós érzékelő kimenő nyomása/ regisztrálására kapacitív átalakítók és kétsugaras DISA universal indikátor segítségével.

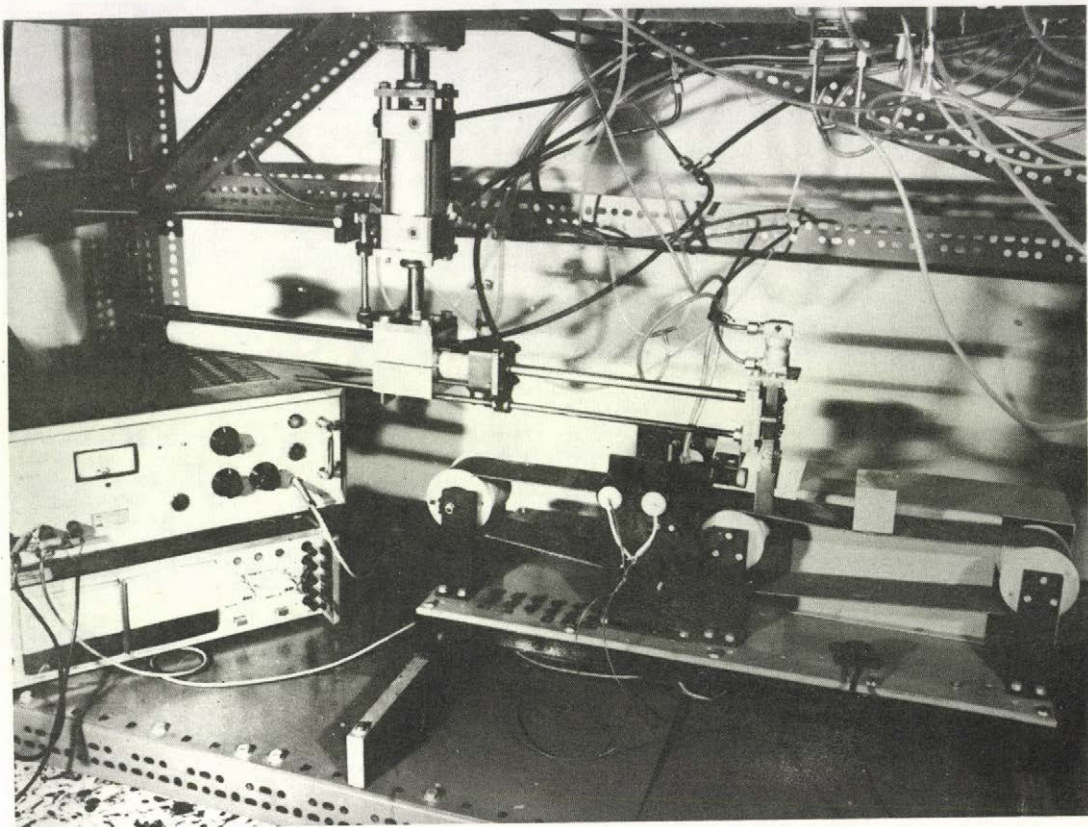
A vizsgáló berendezés távlati képét a 3. ábra, a kinematikai lánc részletét a 4. ábra, a kezelő egység részletét az 5. ábra mutatja.

Mint már említettük, a vizsgálatokat elsősorban minőségi megfontolások céljából végeztük, bár a mérőberendezés és a kapott mérési eredmények mennyiségileg is értékelhetők. A mennyiségi következtetések ismertetését itt most mellőzzük.

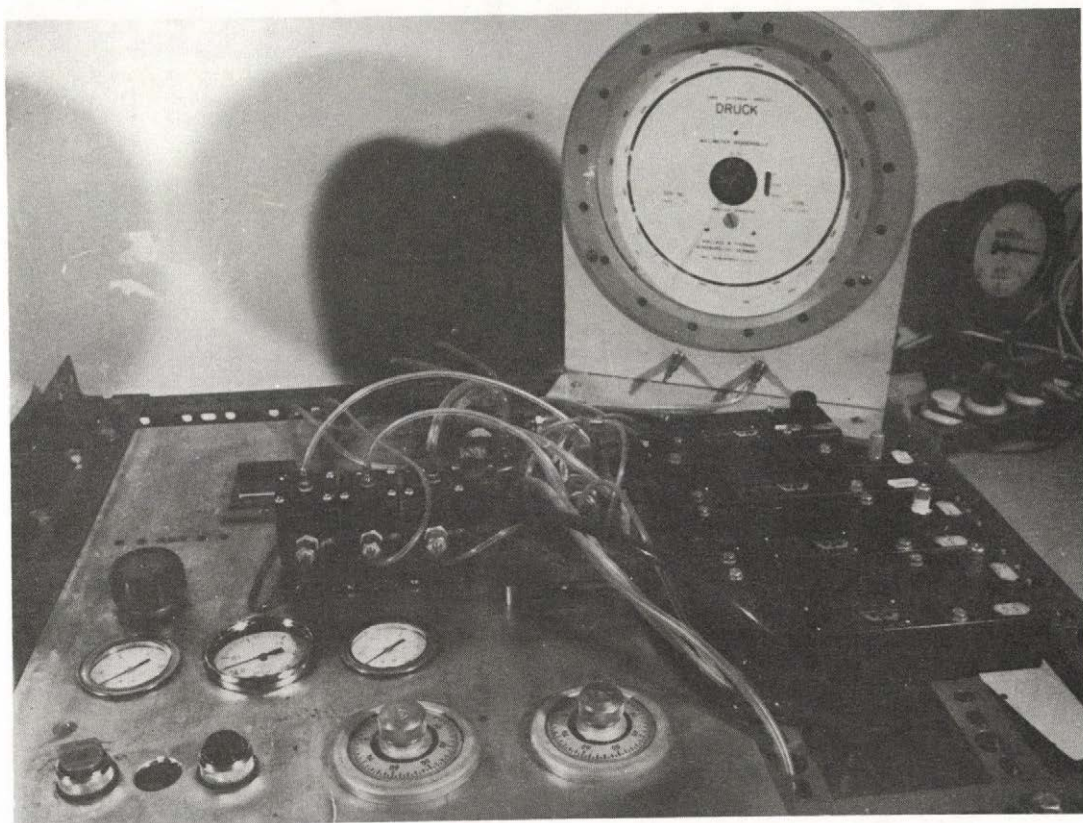


3. ábra

A vizsgálat lényegében igazolta, hogy egyszerű irányítástechnikai eszközök alkalmazására, nem igényes, a vizsgálat szerinti speciális esetben /ill. esetekben/, van lehetőség. A 6.a, b, c, d, ábrákon rendre bemutatjuk a 2, 3, 4 és 5 alkalommal ismételt /a 9 számláló segítségével beállítható/ megközelítési ciklus során felvett reflexiós érzékelő kimenő nyomás /tetején vízszintesre laposodó görbe/ és a vízszintes munkahengert hátra mozgató nyomás /töltődést és hirtelen visszaesést mutató görbe/ regisztrátumait.



4. ábra

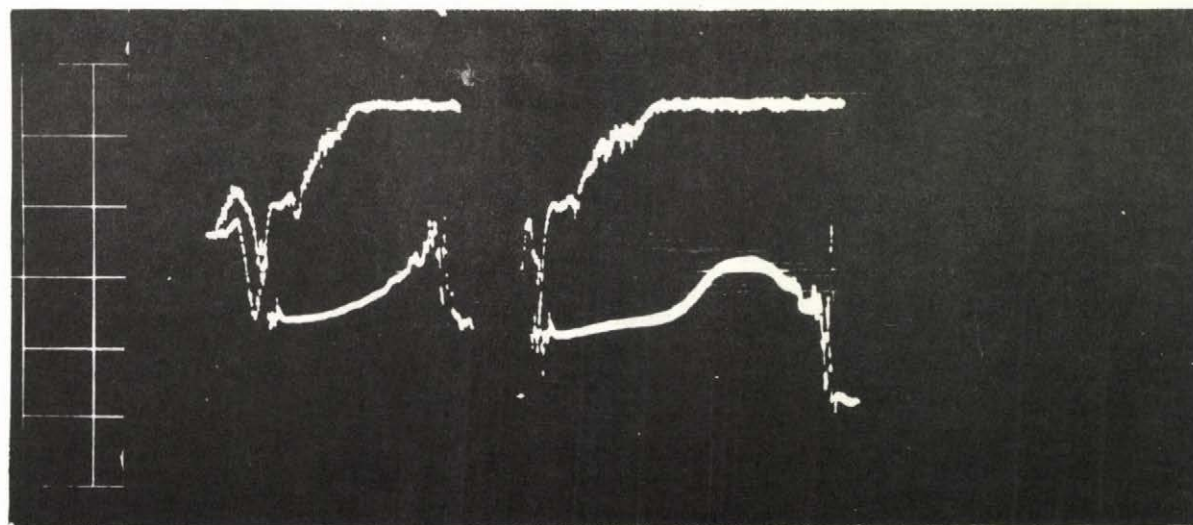


5. ábra

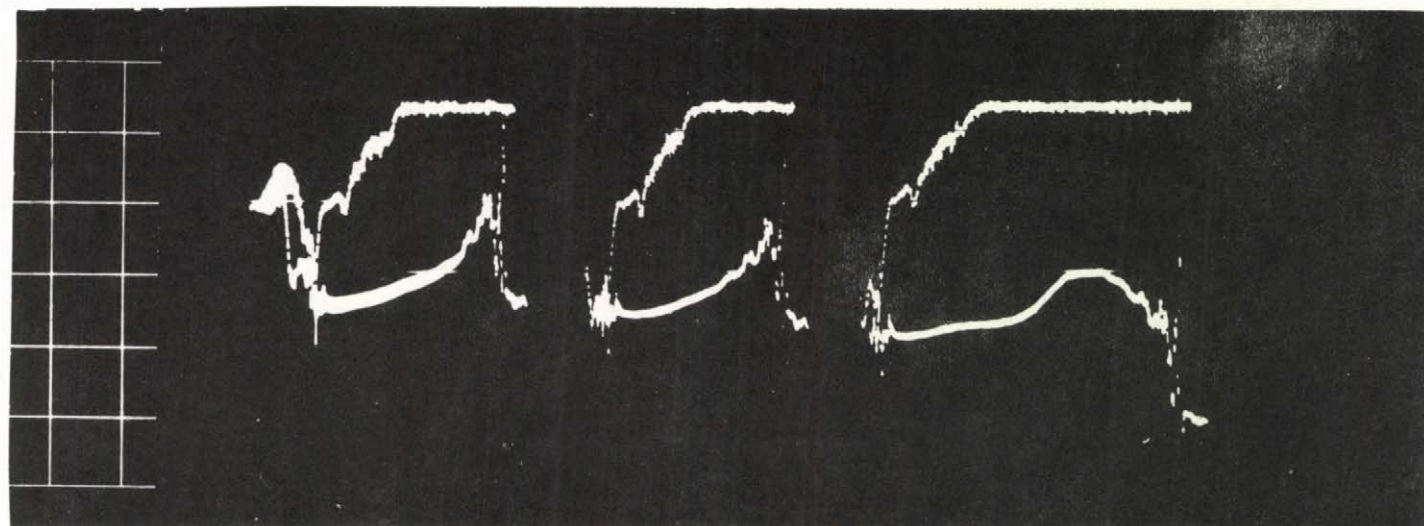
Az oszcilloszkóp ernyő hálózaton, a függőleges irányu osztásokat illetően az érzékelő esetében a lépték 0,01 bar/2 osztás, a munkahenger tér nyomás esetében a lépték 1 bar/5 osztás. A viszonylag kis munkahenger téri nyomásváltozások a kis munkahenger terhelések következményei.

Az érzékelő kimenőjelének vízszintes szakasza azt mutatja, hogy a megközelítések során az érzékelő a munkadarabbal érintkezik. Ez az érintkezés a vizsgálatok során az érzékelőre semmiféle káros mechanikai igénybevételt nem jelentett. Ez köszönhető volt többek között a munkadarab mérsékelt tömegének, meg annak, hogy a munkadarab az érzékelővel való érintkezések során a kívánt mértékben a szalagon megcsuszhatott.

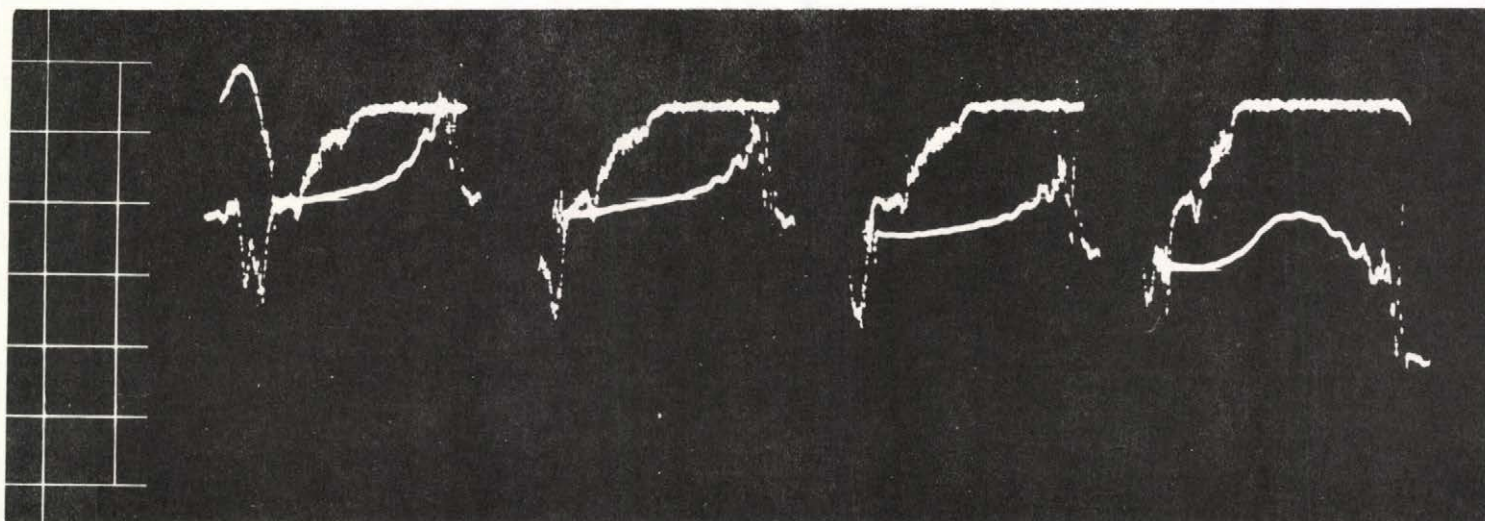
A vízszintes munkahenger hátra mozgását kiváltó nyomásjel csúcsában indult tulajdonképpen hátrafelé a dugattyú.



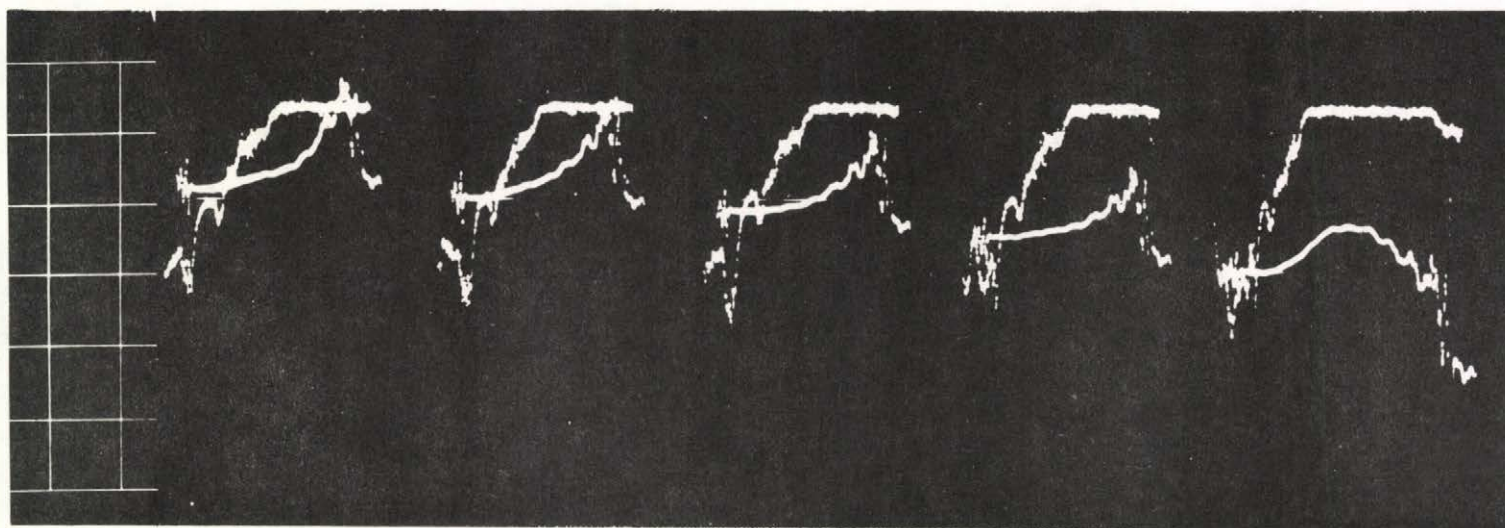
6.a. ábra



6.b. ábra



6.c. ábra



6.d. ábra

III. EGY INTELLIGENS ROBOT MEGFOGÓJÁNAK
KONSTRUKCIÓS PROBLÉMÁI

ZILAHY FERENC

Az MTA-SzTAKI-ban folyó mesterséges intelligencia kutatáshoz, annak egy végrehajtó elemeként, robotmanipulátort fejlesztettünk /1. ábra/. Az első kísérleti példány kialakításakor igyekeztünk messzemenően figyelembe venni azokat az alapelveket, ill. feltételeket, amelyek biztosították a szükséges manipulációs képességet a lehető legegyszerűbben és legolcsóbban. Így jutottunk el oda, hogy készítettünk egy derékszögű koordináta irányokban mozgó háromkocsis rendszert, mint alapmechanikát, amelyre cserélhető módon kialakítva tudjuk illeszteni a három szabadságfoku kezet.

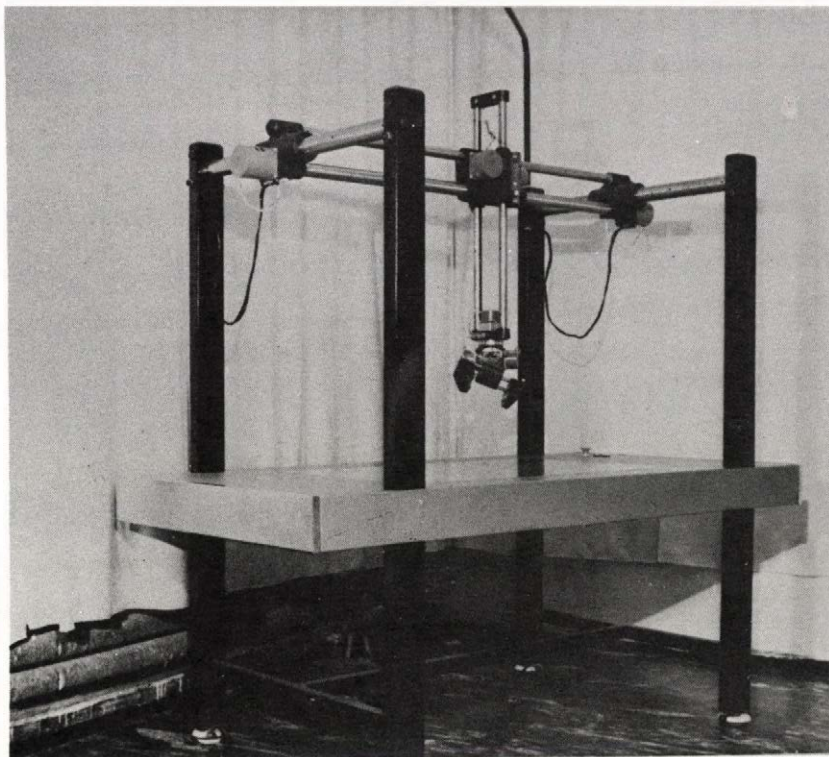
Az 1. ábrán látható, hogy az X és Y kocsik vízszintes síkban mozognak, míg rá merőlegesen, függőleges irányban a Z kocsi végez elmozdulást. Az X és Z kocsit a nagyobb terhelések miatt, egymással mechanikai szempontból párhuzamosan kapcsolt motorok mozgatják, míg az Y irányban egy is elegendőnek bizonyult.

A párhuzamos működés nem csak azonos elmozdulásokat, hanem beállított, fél lépésen belül rugalmas, de azon tuli elfordulást nem engedő merev kapcsolatot jelent.

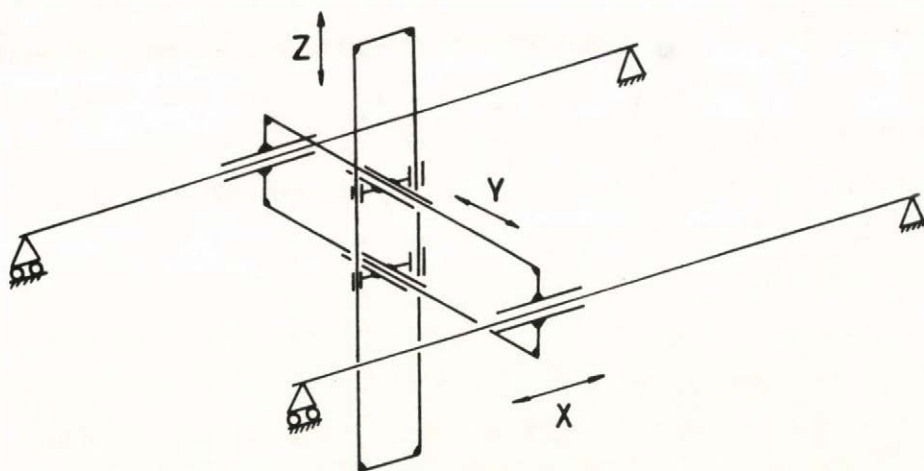
Ezzel az egyszerű és megfelelően merev szerkezettel, könnyen elérhető a téglatest alakú manipulációs tér minden pontja. Az asztal síkjára mágnessel rögzített szorító és helyezőkészülékek biztosítják a munkadarabok megfelelő helyzetét, ill. helyét a manipulálás ideje alatt.

A kocsik mozgatására, állandó mágnesű forgórészű léptető motorokat alkalmaztunk, visszacsatolás nélkül. Összehasonlítva a szokásos zárthurku analóg szervomotorokkal, lényeges előnyökkel rendelkeznek; *noha a visszacsatolás nem szükségszerű*, akár az analóg, akár a digitális visszacsatolójelekkel kompatibilitások, a visszacsatolt jel sebességét, helyzetét, vagy mindkettőt reprezentálják.

A hiba nem akumulálódik, mindaddig, amíg az impulzusok és a lépések közötti integritás biztosított. Az impulzusok már a lépte-



1. ábra



2. ábra.

tés elkezdésekor egy közbenső regiszterben vannak, így a motor végső tengelyhelyzete ismertté válhat az egy lépésidő igen kis százaléka alatt.

Ezzel szemben az egyenáramú szervóhajtások pontossága függ az érzékelő, visszacsatoló elem pontosságától és a szabályzó hurok fáziseltolódásától.

Amíg a maximális terhelő nyomaték kis impulzussűrűségnél lép föl, a motor a terhelést könnyen felgyorsítja. Ha a kívánt helyzetet elértük, a vezérlőjelek megszűnnek, nincs szükség kuplungra, fékre, mágnesesen rögzített utolsó helyzetében. Konstrikciójánál fogva kis sebességűek, nem mindig van szükség redukcióra. A forgórész tehetetlenségi nyomatéka kicsi. Ha több motort hajtunk meg ugyanazon forrásból, megőrzi szinkronizációjukat.

Ezen előnyök némelyike bizonyos hátránnyal jár együtt: a határfoka kicsi, a bemenőenergia nagyrésze hővé alakul, ami káros deformációkat okozhat a környező alkatrészekben. A bemenőjeleket illeszteni kell a motorhoz, és a teheléshez. Relative nagyobb tehetetlenségi nyomatéku terhelések esetén felléphet káros rezonancia jelenség is, ami ellen valamilyen módon a szerkezet épsége érdekében védekezni kell, még csillapítás is szükséges lehet. A forgórész elveszti mágnesességét a normális fókot meghaladó tulzott gerjesztés esetén.

A kéz mechanizmusát is hasonló léptetőmotorokkal működtetjük. Mivel itt a rendelkezésünkre álló hely eléggé korlátozott volt, kisebb motorokat alkalmaztunk és a nagyobb nyomatékigényt redukciós hajtóművekkel biztosítottuk. A fogaskerékes hajtásoknál a szükségszerű foghézagok hibát okoznak, amelyek rontják a mechanizmus visszaállási pontosságát.

A hiba értékét a külső fogaskoszorúk "ollózásával" csökkentettük.

Az excentrikus bolygókeres hajtóműveket közvetlenül a motorra szereltük, mintegy a motor meghosszabbításaként. Ezen speciális mechanizmusok, nagy variációs lehetőséget biztosítanak, mert egy fokozatban, azonos külső méretek mellett, más fogaskerékpárral a módosítás igen széles határok között változtatható / $i = 5$ -től 5000-ig/.

A 3. ábrán látható a hajtómű kinematikai vázlata.

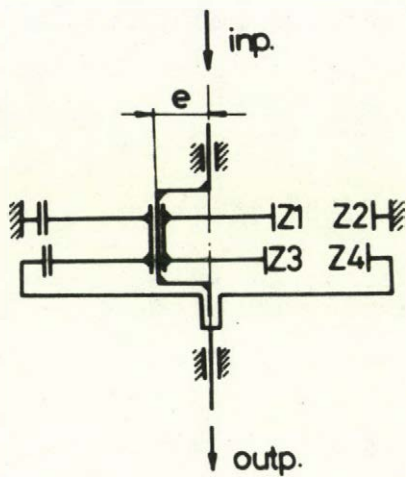
Az áttételt a könnyebb programozhatóság érdekében úgy kell megválasztani, hogy a lépésmagyság a teljes körnek egész számu hányadosa legyen, mert különben a 0 pont detektálás nehézségekben ütközik. Ha az első lépésben nem sikerül, a jelenlegi kézkonstrukció módot ad még egy további korrekcióra.

A 4. ábrán a kézkínematika látható.

Az ábrán nem tüntettük fel a mechanizmusnak azt a részét, amelyik a megfogópofák mozgását biztosítja.

A fenti mechanizmus összetett mozgásra képes, amelynek két szélső és egy közbelső állapota van, kihasználva a léptetőmotorok azon előnyét, hogy a fordulatszámuk folyamatosan, tág határok között változtatható, igen egyszerű eszközökkel, valamint lehetséges az egy lépésen belüli irányváltás. Ha feltételezzük, hogy a motorok bemeneti frekvenciája azonos, de forgásuk ellentétes irányu, akkor a megfogópofák a 2-es tengely körül "billentést" végeznek. Amennyiben az egyik motor irányt vált, ezen mozgás megszűnik, és az erre merőleges síkban elhelyezkedő 3-as tengely körül fog forogni a megfogó.

A harmadik jellemző állapot az, ha valamelyik motor áll, amíg a másik forog. Ez esetben azonos sebességgel billentés is és forgás is bekövetkezik. Időben változó sebességű összetett mozgások szükségessége esetén, meg kell határozni azokat az összefüggéseket, amelyek megadják a frekvenciák pillanatnyi értékét és a forgások irányát.

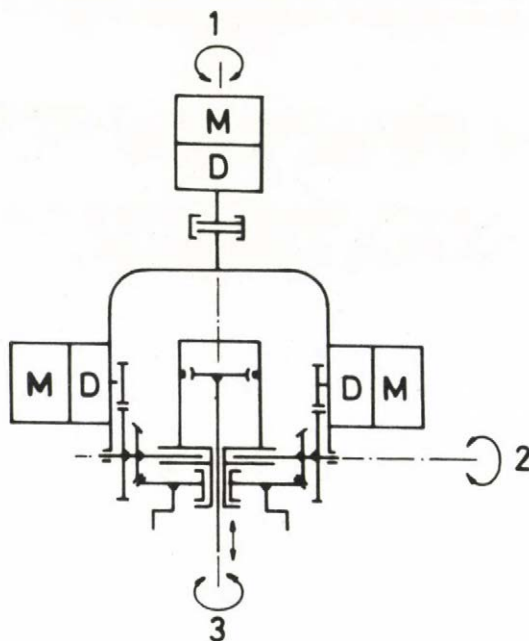


$$i = \frac{1}{1 - \frac{Z2}{Z1} \frac{Z3}{Z4}}$$

$$Z2 - Z1 = Z4 - Z3$$

$$e = \frac{m}{2} (Z2 - Z1) = \frac{m}{2} (Z4 - Z3)$$

3. ábra.



4. ábra.

Ezek ismeretében a motorokat vezérelve megkapjuk a megfelelő elmozdulásokat.

Az 5. ábrán a kéz távlati képe látható.

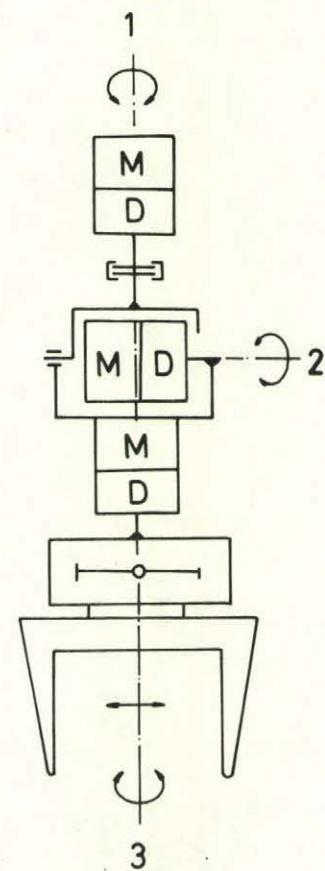
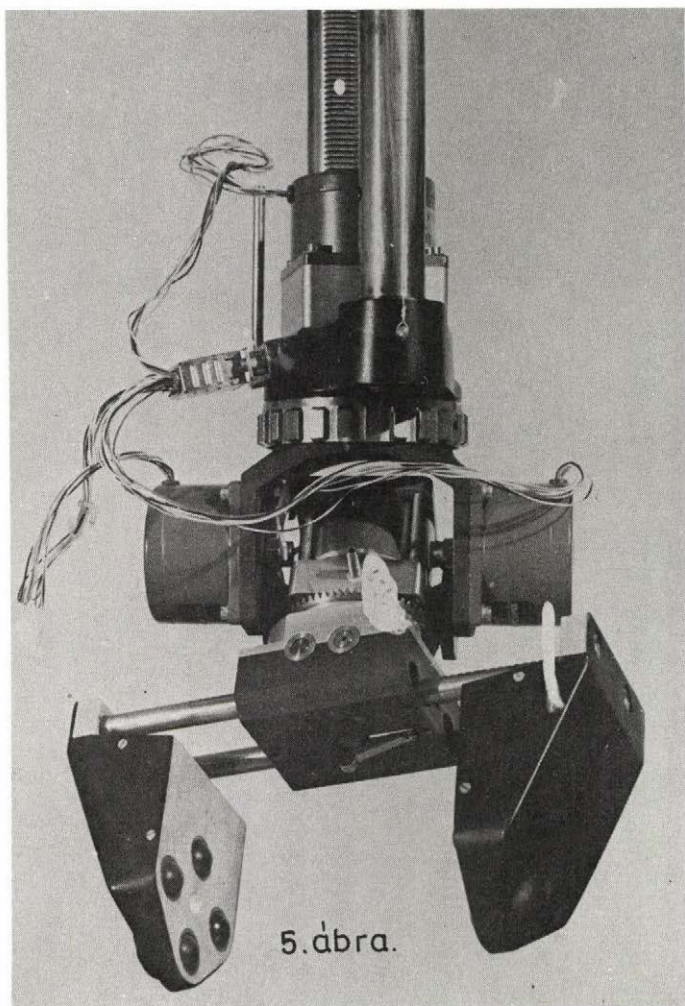
A munkadarab megfogását egy pneumatikus henger végzi áttételek segítségével, ahol a szorítóerőt a tápnyomással tudjuk szabályozni. A megfogópofák párhuzamos mozgatásuak és taktilis érzékelőkkel vannak ellátva.

A fenti kéz és megfogó már egyszerűbb feladatok megoldására képes, de még nem elég adaptív. A nyomaték szempontjából előnyt jelent a két párhuzamosan működő motor, de nem mindig jelenti ugyanezt a működés szempontjából. Ha pl. billenő mozgás van folyamatban és valamilyen okból a megfogó egy külső tárgynak ütközik, a túlterhelés nem úgy jelentkezik, hogy mindkét motor leáll, hanem csak az egyik, aminek következtében az ujjak tovább billennek és megindul a forgás is. Amennyiben viszont az ujjak és a kéz közé egy háromkomponenses erőérzékelőt építünk be, ez a káros jelenség megszűnik, mert ez az összes külső erőt és nyomatékot érzékeli, és leállítja a mozgást.

A pneumatikus szorítás rugalmas megfogást ad, de alkalmazása akkor hátrányos, ha egy megfogópofákkal szöget bezáró tárgyat úgy akarunk felvenni, hogy ne mozdítsuk el e művelet közben.

Alkalmazási korlátozottságot jelent továbbá az, hogy a más típusu műveletekhez szükséges, ettől különböző megfogók, automatikus cseréje, *valamint összetettebb érzékelési - mérési műveletek elvégzése* nem lehetséges. Szükséges tehát pl. egy megfelelően kiképzett mérőfej, vagy ezek sorozata, amit a kéz a mérés előtt fel tud venni, majd egy erre alkalmas tárbá visszahelyezni.

Az érzékelő tár mellett az adaptivitás növelése érdekében egy szerszámtár is kell, ahol a különböző megfogók, vagy célszerszámok tájolva, azonos csatlakoztatási felülettel ellátva he-



6. ábra.

lyezkednek el. A szerszámok - beleértve a megfogókat is -, mindig a konkrét feladathoz kell, hogy speciálisak legyenek. A munkadaraboktól és az elvégzendő műveletektől függően bővíthető a sorozat az egyszerű merev kéttagu belső szorításu pofák-tól kezdve egészen a három vagy többujju izenként mozgatható - emberi kézhez leginkább hasonlító változatig.

A tárból való felvétel, vagy egy erre a célra kialakított - a kézen lévő - párhuzamos "szorításuval" történik, vagy ennek helyébe közvetlenül csatlakozhat.

Az előzőleg említett korlátozottságok és szükségszerűségek miatt a kezét és a megfogót átalakítjuk. A billentést és az alsó forgatást mechanikai szempontból különválasztjuk, annak figyelembevételével, hogy a három forgástengely metszéspontja továbbra is egybeessen, ami vezérléstechnikai könnyebbséget jelent.

A 6. ábrán látható a módosított kéz kinematikája.

A léptetőmotorok az előzőeknél nagyobb áttételekkel, nagyobb nyomatékot szolgáltatnak, a hatáslánc továbbra is nyitott, nem szükséges visszacsatolás, a háromkomponenses erőmérő az ujjakra ható külső erőket mérni tudja.

Az ujjak mozgatása egyenáramu motorral történik, a szerszám-felvétel mechanikus tájolásu és reteszelésü.

IV. KÉTUJJAS FOGÓ TERVEZÉSE

MARTON ZSOLT

dr. MARTON JÓZSEF

1. FELADAT MEGHATÁROZÁSA

A legáltalánosabb fogótípus a csuklós két ujjú típusú fogó. Több változatban is készíthető, egyszerű szögemelőként, vagy több csukló és segédkar alkalmazásával. Az 1. ábrán látható néhány változat vázlata.

A 4-es, és 5-ös változat a legelterjedtebb a gyakorlatban. Ezeket a változatokat azért alkalmazzák, mert a konstrukció egyszerű, és nagy erőátvitelt lehet megvalósítani. Mi is ilyen típusú robotfogó változatra keresünk tervezési módszert.

2. CÉLKITÜZÉS

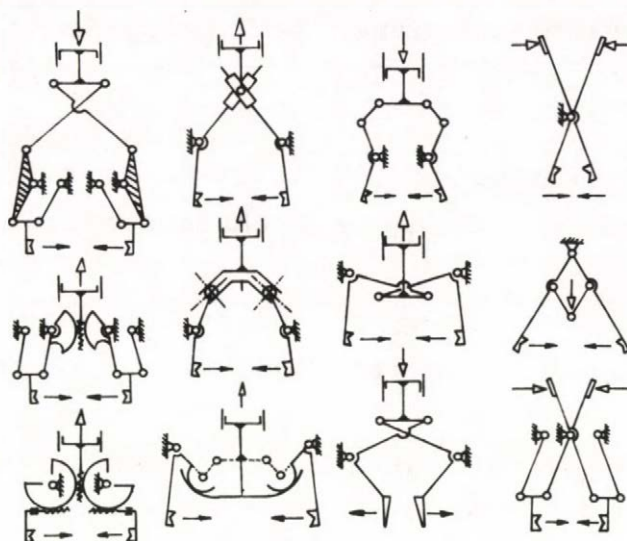
Egy adott feladatnál konkrét igények adódhatnak, amelyek a tervezésnél kitűzött célul szolgálnak. Ilyen követelmények lehetnek:

- 1./ Adott átmérő tartomány.
- 2./ Szorítóerő tartomány.
- 3./ Ujjak maximális és minimális hossza.
- 4./ Az egész fogó kiterjedése.

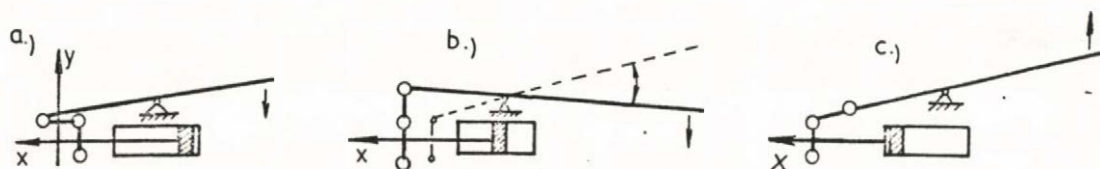
A tervezéskor figyelembe kell venni még a következőket a munkadarabnál:

- a./ alakja, kiterjedése,
- b./ anyaga
- c./ súlya
- d./ hőmérséklete
- e./ helyzete

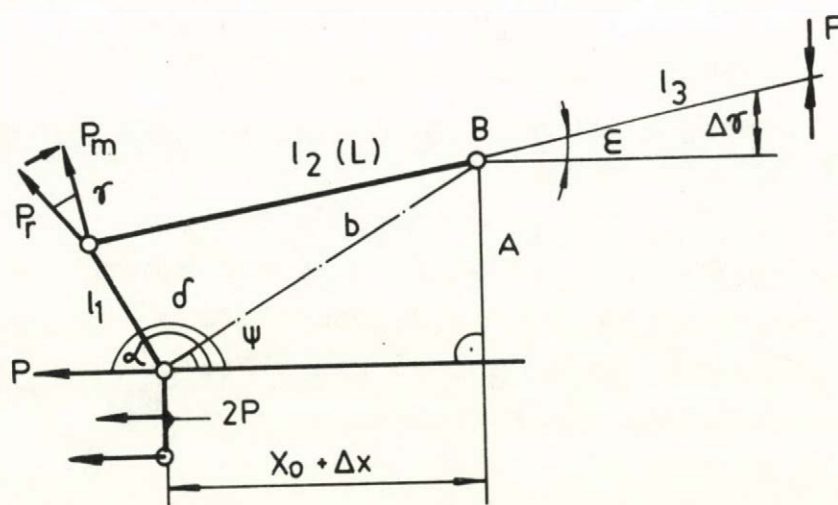
Az a., b., d pontok esetében a fogó szorítópofáinak kell alkalmazkodni a feladathoz.



1. ábra.



2. ábra



3. ábra

Az a. és b. pont figyelembevételével kell meghatározni, hogy a fogó végén a szorítópofák milyen helyzetben legyenek.

A tervezésnél a lényeges szempont az a. és c. pont figyelembevétele. A munkadarab súlyától függ a szükséges szorítóerő.

A fogó tervezésénél a célkitűzés, egy olyan robotfogó konstrukció kialakítása, amelynek a szorítóereje

- a./ munkadarab maximális súlyának a manipulálásához is megfelelő
- b./ a nyitási szög tartományon belül a szorítóerő változása nem túlzottan meredek
- c./ a fogó karjainak az elfordulási szöge alkalmas egy adott munkadarab-átmérő tartomány befogadására.

3. GEOMETRIAI ELRENDEZÉS

A működtető egység pneumatikus munkahenger, teljes elmozdulása esetén, három kitüntetett pozíciót foglalhat el /2. ábra/.

A vázlaton látható határesetek csak elvileg valósíthatók meg. A b./ változatot ajánlatos elkerülni, mivel abban az esetben törőerő lép fel, tehát a középhelyzethez viszonyítva $\pm 5^\circ$ -kal kell a szélső helyzetet behatárolni, attól függően, hogy a munkahenger melyik irányból közelíti meg a "b" esetét.

A 2. ábrán látható, hogy ugyanezek a pozíciók adódnak akkor is, ha a munkahengert az "y" tengelyre tükrözzük. A gyakorlatban mind a két elrendezést alkalmazzák. Az a./ vázlaton látható elrendezés előnye, hogy a megfogó kinyulása csökken, mivel a működtetőelem a karok között helyezkedik el.

4. GEOMETRIAI ÖSSZEFÜGGÉSEK

$$P_r = \frac{P}{\cos \alpha}$$

$$P_m = P_r \cdot \cos \gamma$$

$$M_B = P_m \cdot l_2 = F \cdot l_3$$

$$\Delta r = 2l_3 \sin \epsilon / 2 \approx l_3 \epsilon$$

$$b = \sqrt{x_0^2 + \Delta^2}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \psi &= \frac{\Delta}{x_0} \\ \cos \beta &= \frac{-b^2 + l_1^2 + l_2^2}{2 l_1 l_2} ; \quad \cos \delta = \frac{-l_2^2 + l_1^2 + b^2}{2 l_1 b} \end{aligned}$$

$$\gamma = 90^\circ - \beta$$

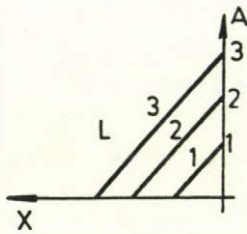
$$\alpha = 180^\circ - (\delta + \psi)$$

$$\epsilon = \psi + \beta + \delta - 180^\circ$$

$$M = l_2 \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos \alpha} \cdot P$$

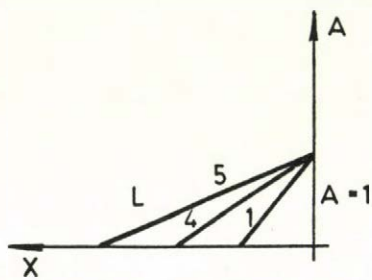
Kiválaszthatók azok a paraméterek, amelyek befolyásolják a fogó konstrukcióját, s azzal a szorítóerő változását /3. ábra/.

A számítások elvégzéséhez az "l" kar hosszát és a "P" erőt segítségnyinek vettük, és az "A" és "L" értékeit változtattuk. Ezekkel az értékekkel az egész "X" tartományra elvégeztük a számításokat, kilenc fogóváltozatra.



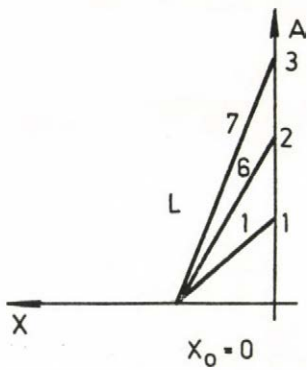
	Sorszám	L	A
$A = X_0 + 1$	1	1,415	1
	2	2,83	2
	3	4,25	3

a.)



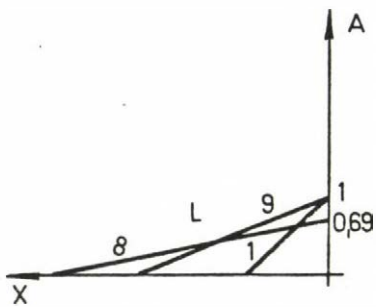
	Sorszám	L	A
$A = 1$	1	1,415	1
	4	2,24	1
	5	3,165	1

b.)



	Sorszám	L	A
$X_0 = 0$	1	1,415	1
	6	2,24	2
	7	3,165	3

c.)



	Sorszám	L	A
SZTAKI EIVRT	1	1,415	1
	8	3,461	0,692
	9	2,5	1

d.)

4. ábra

5. PROGRAMOZÁS

A programozás paraméterei a 3-as ábrán láthatók. Az I. számú mellékleten látható a programozás, a II-V. számú mellékleteken pedig láthatók az egyes változatok nyomatéki és szögelfordulási görbéi. A 4. ábrán a paraméterek geometriai összefüggéseit mutatjuk be.

6. KIÉRTÉKELÉS

Az elvégzett számítások alapján meghatározhatók az ideális méretarányok. A diagrammok alapján megállapítható, hogy az "1, 4, 8, 9" sorszámú változatok méretarányának a figyelembevételével olyan fogó tervezhető, amelynek a szorítóereje viszonylag meredeken emelkedik, és a karok nyitásának a szöge éppen elegendő, tehát ezek az arányok a tervezésnél alkalmazhatók.

A 6, 7-es változatnál a nyomaték hosszú "X" löketnél majdnem lineáris, tehát előnyös, de az értéke alacsony, és a szögelfordulás nagyon előnytelen, ezért nem ajánlott változtat. A számításokat folytatjuk más paraméter kombinációkkal is.

A programozás nyelve: "Basic", és "Nova" számítógépen végeztük a futtatást.

MELLÉKLETEK

```
0010 REM          MARTON J. 1978.03.07          C01FOGO
0020 REM          CSUKLOS ROBOT FOGO NYOMATEK JELLEGGORBE
0030 OPEN FILE[1,1],"$LPT"
0040 PRINT "L=?,A=?"
0050 INPUT L,A
0060 LET X0=(L^2-A^2)^.5-1
0070 LET X1=(L^2-(A-1)^2)^.5
0080 LET X2=((1+L)^2-A^2)^.5
0090 LET D=(X2-X0)/20
0100 LET F1=-((L^2-A^2)^.5*A+(A-1)*(L^2-(A-1)^2)^.5
0110 LET F2=A*(A-1)+(L^2-A^2)^.5*(L^2-(A-1)^2)^.5
0120 LET F=ATN(F1/F2)*180/(4*ATN(1))
0130 PRINT FILE[1],"CSUKLOS FOGO NYOMATEK JELLEGGORBE"
0140 PRINT FILE[1],"PARAMETEREK:L=";L,"A=";A
0150 PRINT FILE[1],"X0","X1","F1","X2","F2"
0160 PRINT FILE[1],X0,X1,F,X2
0165 PRINT FILE[1]
0167 PRINT FILE[1],"I","X","S5","M","S"
0170 FOR I=1 TO 19
0180   LET X=X0+D*I
0185   IF X=X1 THEN GOTO 0315
0186   IF X<0 THEN GOTO 0315
0190   LET B=(A^2+X^2)^.5
0200   LET S1=ATN(A/X)
0210   LET S2=ATN(X/A)
0220   LET C1=(1+B^2-L^2)/(2*B)
0221   IF C1=0 THEN LET C1=.00001
0222   LET C=C1
0224   IF C<0 THEN LET C1=-C1
0230   LET S3=ATN(((1-C1^2)^.5/C1))
0232   IF C<0 THEN LET S3=-S3+4*ATN(1)
0240   LET C2=(1+L^2-B^2)/(2*L)
0241   IF C2=0 THEN LET C2=.00001
0242   LET C=C2
0244   IF C<0 THEN LET C2=-C2
0250   LET S4=ATN(((1-C2^2)^.5)/C2)
0252   IF C<0 THEN LET S4=-S4+4*ATN(1)
0260   LET S5=4*ATN(1)-S3-S1
0270   LET S6=4*ATN(1)-S3-S4
0280   LET S7=2*ATN(1)-S4
0290   LET S=(2*ATN(1)-S2-S6)*180/(4*ATN(1))
0300   LET M=L*SIN(S4)/COS(S5)
0305   LET S5=S5*180/(4*ATN(1))
0310   PRINT FILE[1],I,X,S5,M,S
0315 NEXT I
0320 CLOSE FILE[1]
0330 PRINT "Q=1-UJ PARAMETEREK,Q=2-VEGE"
0340 INPUT Q
0350 ON Q THEN GOTO 0030, 0360
0360 END
```


CSUKLÓS FOGÓ NYOMATEK JELLEGGEZŐ

PARAMETEREK: $L = 1,415$

$A = 1$

x_0

x_1

F_1

x_2

F_2

$1,11294E-3$

$1,415$

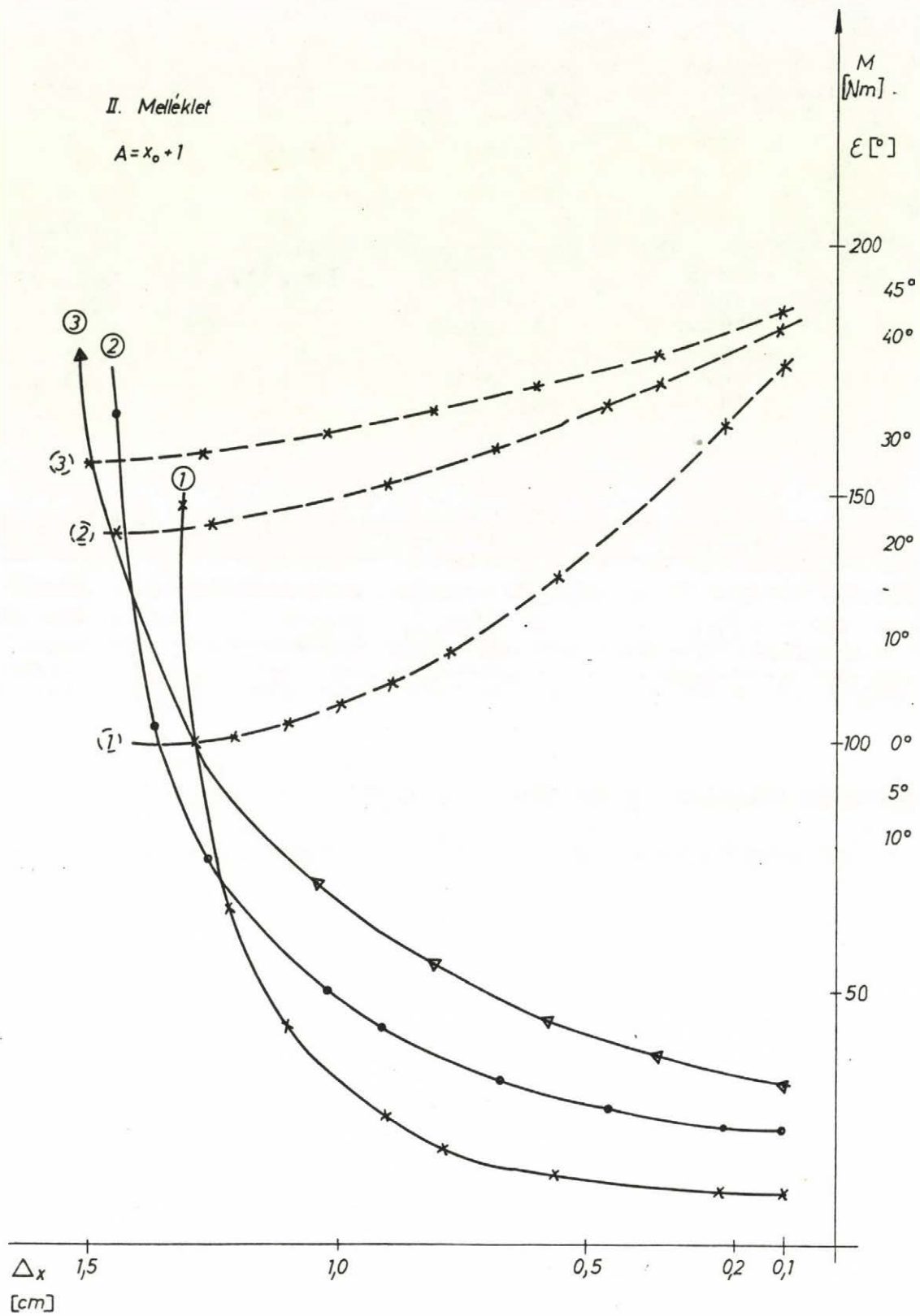
$-35,2493$

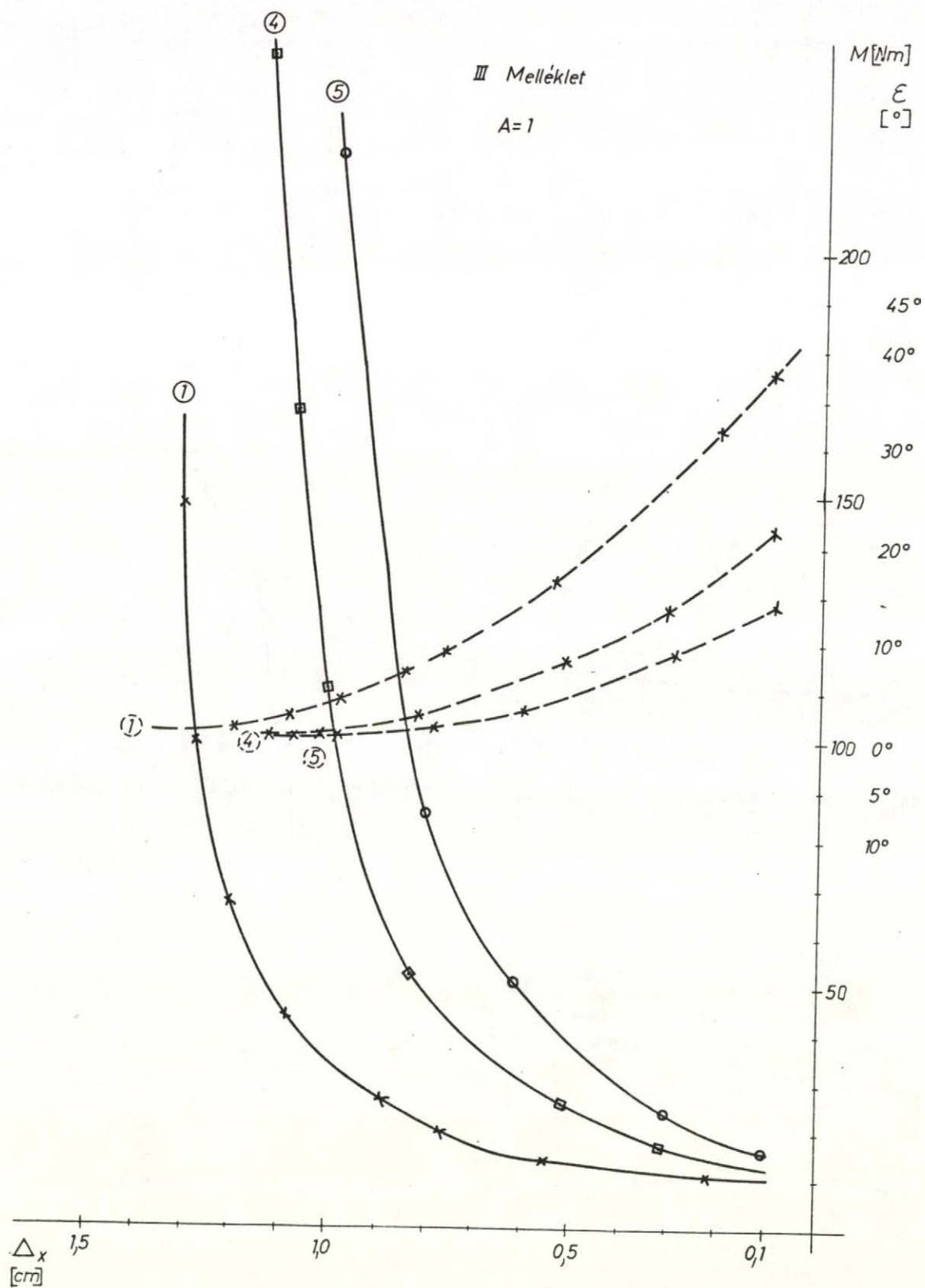
$2,19823$

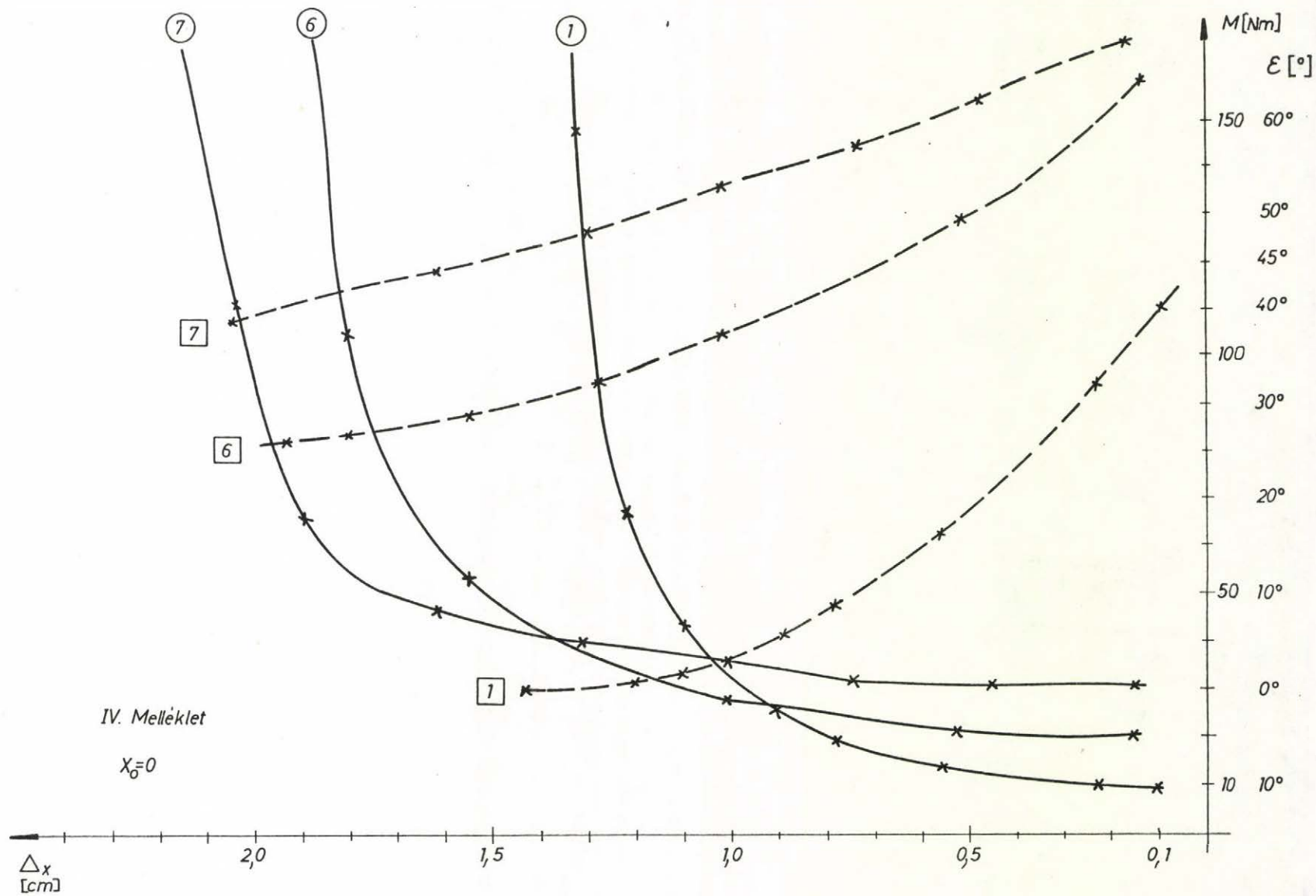
I	X	S5	M	S
1	.110969	6,61965	1,01288	38,7003
2	.220825	13,7547	1,05406	32,594
3	.330681	21,2133	1,12835	26,8077
4	.440537	28,8116	1,24231	21,477
5	.550393	36,3973	1,40575	16,7002
6	.660249	43,8611	1,63451	12,5343
7	.770105	51,1363	1,95565	9,00026
8	.879961	58,194	2,41891	6,09178
9	.989818	65,0333	3,12591	3,78656
10	1,09967	71,6744	4,32015	2,05401
11	1,20953	78,1526	6,76589	.862594
12	1,31939	84,5139	14,7375	.18545
13	1,42924	90,8163	-99,3072	4,28253E-3
14	1,5391	97,1301	-11,304	.313338
15	1,64895	103,546	-5,84403	1,1266
16	1,75881	110,191	-3,78268	2,48919
17	1,86867	117,26	-2,62663	4,50197
18	1,97852	125,12	-1,8131	7,39212
19	2,08838	134,685	-1,11145	11,7858

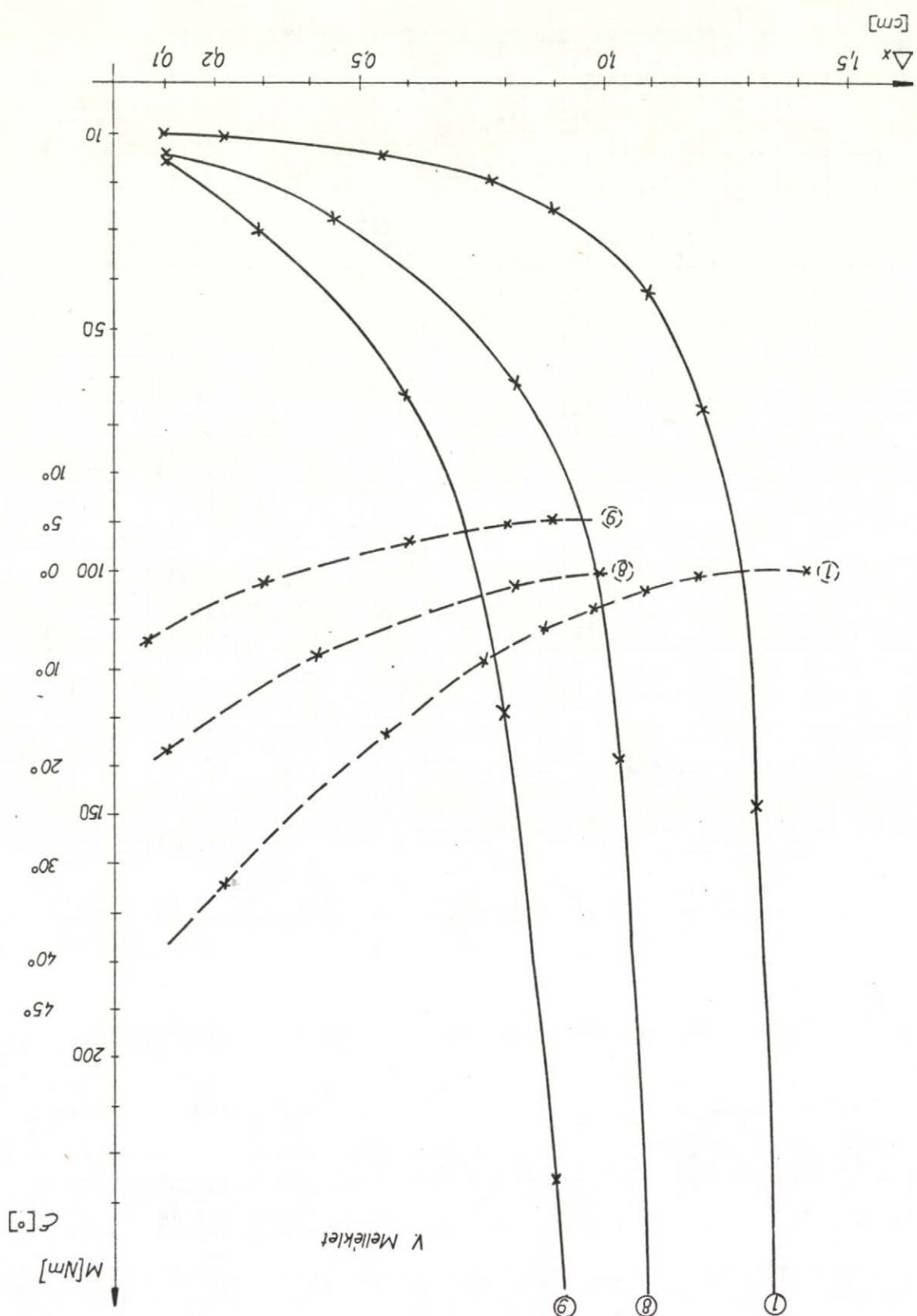
II. Melléklet

$$A = x_0 + 1$$









A TANULMÁNYOK sorozatban 1979-ben megjelentek:

- 88/1979 Renner G. - Gaál B. - Hermann Gy. - Horváth L. -
Várady T.: Szoborszerű felületek tervezése és meg-
munkálása
- 89/1979 Ruda Mihály: A SIS77 statisztikai információs rend-
szer /a felhasznált számítástechnikai eszközök, a
rendszer szerkezete és programjai/
- 90/1979 Bányász Cs. - Keviczky L.: Optimum Insensitivity of
the Linear-continuous Transformation
- 91/1979 Téli iskola /Szentendre/
- 92/1979 Andor László: Kisgépes adatbázis kezelő rendszer
- 93/1979 Bolla M. - Csáki P. - Fischer J. - Herodek S. -
Hoffmann Gy. - Kutas T. - Telegdi L. - Wittmann I.:
A balatoni ökoszisztéma modellezése
- 94/1979 Gertler János: Egy statisztikus szűrési eljárás
számítógépes folyamatirányításához
- 95/1979 Báthory M. - Galló V. - Kovács E. - Mérő L. -
Siegler A. - Vajta L.: Festőrobot vezérlésére al-
kalmas alafelsimerési berendezés
- 96/1979 Mérő László: Konturkeresés zajos digitalizát képek-
ben
- 97/1979 Pásztorné - Matavovszky T.: Boole-függvény kezelő-
rendszer
- 98/1979 Kecskés Zsuzsa: Három dimenziós tárgyak drótvázának
ábrázolása vonalrajzoló grafikus berendezésekkel

99/1979 Ivics József: KGST Riga

100/1979 Téli iskola

1980 APR 2 6